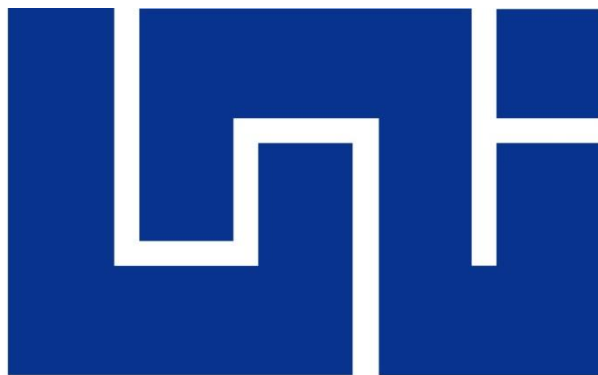


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIRÍA.**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN.**  
**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN.**  
**(M-GTIC)**



*Líder en Ciencia y Tecnología*

**EVALUACIÓN DE RADIACIONES NO-IONIZANTES EMITIDOS POR LOS SISTEMAS DE  
TELEFONÍA CELULAR EN AMBIENTES URBANOS DE NICARAGUA.**

**Autor: Ing. Oscar Napoleón Martínez Zapata.**

**Supervisor: Marvin Arias Olivas, PhD.**

**Managua, Diciembre 2013.**



## *Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.*

---

*Para mi esposa Juanita y mis hijos Emmanuel, Samuel y mi pequeña Jael.*

*Pero en especial al más grande de todos, mi Señor JESUCRISTO.*

*Aguardando la esperanza bienaventurada y la manifestación gloriosa de nuestro gran Dios y Salvador  
Jesucristo, Tito 2:13. (IGLESIA PENTECOSTAL UNIDA DE NICARAGUA)*



## AGRADECIMIENTOS.

***“Deseo agradecer con todo mi corazón a mi Dios el Señor Jesucristo por su bondad y misericordia, reconociendo públicamente que soy lo que soy únicamente por él y para él”.***

*A mi esposa Juanita por su apoyo y paciencia y por creer en mí, a mis hijos Emmanuel, Samuel y por supuesto mi hija Jael que son mi gran inspiración.*

*A la Iglesia Pentecostal Unida de Nicaragua por sus oraciones, a mi papá Abelardo Napoleón Martínez, mi mamá Alba Nubia Zapata, mis hermanos y al Profesor el Dr. Marvin Arias Olivas por su apoyo y ejemplo no solo como lo que es un gran profesional sino también como una maravillosa persona.*

*Y a todos los que hicieron posible y contribuyeron a la realización de este trabajo...*

*“Muchas Gracias”*



## ABSTRACT.

The rapid and increasing development of wireless communications drive into a higher human exposure to electromagnetic fields (EMF) that come from new communication devices which mostly are of short- and medium-range such as mobile telephones (GSM, UMTS, LTE) and wireless networks like WLAN, HSDPA and WiMAX.

In this thesis we present an analysis of the leading investigation agencies related to Nonionizing Radiations and also official international organisms like the World Health Organization (WHO), International Telecommunications Union (ITU) and the Federal Communications Commission (FCC).

In order to assess that the limit of exposure of people to EMF coming from cellular networks is met we take into account the ITU-T K52 recommendation and by using simulations developed in MATLAB® and performing field measurements (Drive Test), we have analyzed scenarios considering its operation in extreme cases.

From the results obtained using the simulations we noted that because of the low transmission power of the radio transmitters in cellular networks, considering antenna types and operation bands (700, 850, 900, 1800, 1900, 2500, 3500 MHz), we can state that the energy and the Specific Absorption Rate (SAR) absorbed by one person because of the exposure to EMF will not surpass the 2.1% and the 4.6% of the limit respectively for a site; and for a cluster 7/21 the power density levels and SAR are 7.2% and 13.8%. Also there were simulations performed based on Radio Network Planning by using ATOLL® for the city of Managua, where the results are given based on the power level, in a way that is possible to know the coverage signal levels and that way determine the highest power level generated by a cellular network in particular.

Finally, in order to assess and compare the results from the simulation, we have made field measurements (Drive Tests), equipped only with telephones, GPS and scanner, for YOTA Nicaragua and Claro networks. The results obtained are 1.24% of emissions with respect to the corresponding limits. In light of the no verification of harmful effects of the cellular network equipments over human health, we recommend to consider preventive measures, since the results obtained could help to establish a more favorable environment for deploying cellular networks through regulations and a good information mechanism.



## RESUMEN.

El creciente y rápido desarrollo de las comunicaciones inalámbricas conduce a una mayor exposición humana a campos electromagnéticos (EMF; por sus siglas en inglés) procedentes de nuevos dispositivos de comunicación que en su mayoría son de corto a mediano alcance como por ejemplo, los teléfonos móviles (GSM, UMTS, LTE) y las redes inalámbricas como WLAN, HSDPA y WiMAX.

En ésta tesis se presenta un análisis de las principales agencias de investigación relacionadas a las Radiaciones No-ionizantes así como organismos internacionales certificados como la Organización Mundial de la Salud (OMS), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), Federal Communications Commissions (FCC; por sus Siglas en Inglés).

Para evaluar el cumplimiento de los límites de exposición de personas a campos electromagnéticos provenientes de redes celulares nos basamos en la recomendación UIT-T K52, mediante simulación desarrollada en MATLAB® y realizando las mediciones de campo (Drive Test), hemos analizado escenarios considerando su operación en casos extremos.

De los resultados obtenidos por simulación comprobamos que debido a la baja potencia de los radio transmisores de las redes celulares, considerando, tipos de antenas y bandas de operación (850, 1900, 2500 MHz), podemos afirmar que la energía y la tasa de absorción específica (SAR, por sus siglas en inglés) absorbida por una persona por exposición a emisiones electromagnéticas no sobrepasa el 2.1% y el 4.6% del límite respectivamente para un emplazamiento; y para un clúster 7/21 los niveles de densidad de potencia y SAR son de 7.2% y 13.8%. También se realizó simulación basada en Radio Network Planning usando ATOLL® para la ciudad de Managua, donde los resultados se presentan en función del nivel de potencia, de forma que sea posible conocer los niveles de señal de cobertura y de esa manera determinar el mayor nivel de potencia generado por una red celular en particular.

Finalmente, para evaluar y comparar los resultados por simulación, se realizaron mediciones de campo (Drive Test), con teléfonos, GPS y escáner, en las redes de YOTA Nicaragua y CLARO. Los resultados obtenidos son del 1.24% de emisiones con respecto a sus límites correspondientes. En vista de la no comprobación de efectos nocivos sobre la salud humana por parte de los equipos de las redes celulares se recomienda tomar medidas de prevención, puesto que los resultados obtenidos podrían ayudar a propiciar ambientes más favorables para el despliegue de redes celulares mediante la regulación y un buen mecanismo de información.



## Tabla de contenido

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>1</b>
1.1	FUNDAMENTOS BÁSICOS.	2
1.2	LAS RNI PRODUCIDAS POR TELEFONÍA MÓVIL Y LA SALUD HUMANA.	3
1.2.1	<i>Principales Fuentes y Niveles de Exposición.</i>	4
1.2.2	<i>Efectos Biológicos y en la Salud.</i>	5
1.3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	8
1.4	OBJETIVOS.	8
1.4.1	<i>Objetivo General.</i>	8
1.4.2	<i>Objetivo Específicos.</i>	8
1.5	CONTRIBUCIÓN DE LA TESIS.	9
1.6	ESTRUCTURA DE CONTENIDO.	10
<b>2</b>	<b>ANÁLISIS DE NORMATIVAS DE CONTROL DE RNI DE OTROS PAÍSES.</b>	<b>11</b>
2.1	ÁFRICA.	13
2.2	EUROPA.	13
2.3	ASIA.	14
2.4	AMERICA.	14
2.5	OCEANIA.	15
<b>3</b>	<b>ANTENAS DE TELEFONÍA CELULAR Y LA SALUD HUMANA EN NICARAGUA, CASO DE ESTUDIO.</b>	<b>17</b>
3.1	LA POBLACIÓN NICARAGÜENSE CONSULTADA.	18
3.1.1	<i>Antenas de Telefonía Celular.</i>	18
3.1.2	<i>Regulación y Mayor Información.</i>	18
3.2	ENTE REGULADOR DE LAS TELECOMUNICACIONES.	19
3.3	MINISTERIO DE SALUD.	21
3.4	OPERADORES DE TELEFONÍA CELULAR (VOZ Y DATOS).	21
3.4.1	<i>American Móvil (Claro).</i>	22
3.4.2	<i>YOTA de Nicaragua.</i>	23
3.4.3	<i>Telefónica (Movistar).</i>	24
<b>4</b>	<b>SIMULACIÓN Y MEDICIÓN DE RNI EN MANAGUA Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.</b>	<b>25</b>
4.1	SIMULACIONES BASADAS EN NORMATIVAS DE LA UIT.	26
4.1.1	<i>Tipo de Exposición.</i>	26
4.1.2	<i>Determinación de Límites de Exposición.</i>	28
4.1.3	<i>Niveles de Potencia para un Emplazamiento y Modelo e Propagación.</i>	30
4.1.4	<i>Simulaciones a Implementar.</i>	31
4.2	RESULTADOS DE SIMULACIÓN PARA UN EMPLAZAMIENTO.	35
4.2.1	<i>Resultados de Simulación para varios Emplazamientos.</i>	46
4.3	SIMULACIONES UTILIZANDO ATOLL PARA LAS REDES 2G Y 3G DE CLARO Y MOVISTAR, ASÍ COMO PARA WIMAX DE YOTA DE NICARAGUA.	54
4.3.1	<i>Simulaciones Utilizando ATOLL para Wimax de YOTA Nicaragua.</i>	56
4.3.2	<i>Simulaciones Utilizando ATOLL para 2G y 3G de CLARO en 850MHz y 1900MHz.</i>	58
4.4	VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LOS NIVELES DE RNI.	68
4.4.1	<i>Medición Experimental para YOTA Nicaragua (WiMax 802.16e).</i>	68
4.4.2	<i>Medición Experimental para CLARO Nicaragua. (2G y3G).</i>	70
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>75</b>
<b>6</b>	<b>TRABAJOS FUTUROS Y RECOMENDACIONES.</b>	<b>77</b>



<b>7</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>78</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>III</b>
	<b>ANEXO A.</b>	<b>IV</b>
	(ESTÁNDARES INTERNACIONALES RELACIONADOS A LAS RNI PARA PROTECCIÓN DE LA SALUD.)	IV
	<b>ANEXO B.</b>	<b>XI</b>
	(M-FILES DESARROLLADOS EN MATLAB 7.0 R12)	XI
	<b>ANEXO C.</b>	<b>XXXII</b>
	(REQUISITOS PARA TRAMITACIÓN DE SOLICITUD DE PERMISO SANITARIO PARA PROYECTOS DE INSTALACIÓN DE ANTENAS DE TELEFONÍA CELULAR.)	XXXII



## LISTA DE FIGURAS.

<i>Figura 1.1 Subscriptores de Telefonía Celular vs Fija en Nicaragua Según la UIT</i>	3
<i>Figura 1.2 Identificación de los Efectos Biológicos en la Salud ante las RNI</i>	4
<i>Figura 2.1 Países con Instrumentos Legales para el Control de las RNI a Analizar</i>	12
<i>Figura 2.2 Límites de Tasa de Absorción Específica</i>	16
<i>Figura 2.3 Límites y Protección de EMF</i>	16
<i>Figura 3.1 Efectos de la Regulación y más Información Sobre la Percepción Social de las RNI De los Sistemas de Telefonía Celular</i>	21
<i>Figura 3.2 Plan de Recorrido de los Drive Test Yota Nicaragua</i>	24
<i>Figura 4.1 Presunciones para el Procedimiento de Evaluación de la Exposición a Campos Electromagnéticos.</i>	26
<i>Figura 4.2 Ejemplo de Configuración para calcular la exposición a nivel del suelo</i>	27
<i>Figura 4.3 Simulación de Camino Aleatorio de 20000 Pasos</i>	28
<i>Figura 4.4 Configuración Full Power <math>\frac{3}{4}</math> de Radiotransmisores por Sector.</i>	31
<i>Figura 4.5 Esquema de Clasificación de la Instalación y Procedimiento para Determinar la Clase de Instalación.</i>	32
<i>Figura 4.6 Procedimiento de Evaluación de la Exposición a Campos Electromagnéticos.</i>	34
<i>Figura 4.7 Simulación de Persona Caminando Aleatoriamente en una Cobertura de 500 mts.</i>	36
<i>Figura 4.8 Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones.</i>	37
<i>Figura 4.9 Distribución de los Datos de Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones</i>	38
<i>Figura 4.10 Comparación Entre los Límites de la UIT K52 y la Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones</i>	38
<i>Figura 4.11 Cálculo del SAR Media para 75 Repeticiones para Banda 850MHz y una Antena 17.4 dBi, 2º de Tilt y 65º de Ancho de Haz Efectivo</i>	39
<i>Figura 4.12 Cálculo de Potencia en dBm para 75 Repeticiones para Banda 850MHz y una Antena 17.4 dBi, 2º de Tilt y 65º de Ancho de Haz Efectivo</i>	39
<i>Figura 4.13 Valor Promedio de la Potencia en dBm y en nW por Espectro Asignado para 1 Emplazamiento</i>	42
<i>Figura 4.14 Contribución de Energía Absorbida Producto de las Antenas por Banda de Operación Comparadas con los Límites UIT-T K52.</i>	43
<i>Figura 4.15 Contribución de SAR Media en el Cuerpo Producto de las Antenas por Banda de Operación Comparadas con los Límites UIT-T K52.</i>	44
<i>Figura 4.16 Patrón de Reúso 7/21.</i>	46
<i>Figura 4.17 Área de Cobertura por 7 Emplazamientos, Banda 850MHz, Ancho de Haz Efectivo 66º, G= 17.2 dBi y un Tilt de 5º</i>	47
<i>Figura 4.18 Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones / 7 Emplazamientos.</i>	47
<i>Figura 4.19 Distribución de los Datos de Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones / 7 Emplazamientos</i>	48
<i>Figura 4.20 Comparación Entre los Límites de la UIT K52 y la Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones/7 Emplazamientos.</i>	49
<i>Figura 4.21 Cálculo del SAR Media para 75 Repeticiones/7 Emplaza. Para Banda 850MHz y una Antena 17.2 dBi, 5º de Tilt y 66º de Ancho de Haz Efectivo.</i>	49
<i>Figura 4.22 Cálculo de Potencia en dBm para 75 Repeticiones/7 Emplaza. Para Banda 850MHz y</i>	50





una Antena 17.2 dBi, 5° de Tilt y 66° de Ancho de Haz Efectivo.	
Figura 4.23 Valor Promedio de la Potencia en dBm y en nW por Espectro Asignado para 7 Emplazamientos.	51
Figura 4.24 Niveles de Energía Absorbida por Espectro Asignado, Comparados con sus Límites UIT-T K52	52
Figura 4.25 Niveles de SAR por Espectro Asignado, Comparados con sus Límites UIT-T K52	53
Figura 4.26 Algoritmo que Emula las Redes en Estudio.	55
Figura 4.27 Emplazamientos de YOTA Nicaragua Considerados para Evaluación A Niveles de Señal por Cobertura Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua	56
Figura 4.28 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para YOTA Nicaragua Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua	57
Figura 4.29 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para YOTA Nicaragua Desde Google Earth de la Ciudad de Managua	57
Figura 4.30 Histograma y Reporte de Niveles de Señal por Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para YOTA Nicaragua	58
Figura 4.31 Emplazamientos de CLARO 3G-850MHZ Considerados para Evaluación A Niveles de Señal por Cobertura Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua	59
Figura 4.32 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 3G - 850MHZ Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua	60
Figura 4.33 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 3G-850MHZ Desde Google Earth de la Ciudad de Managua	60
Figura 4.34 Histograma y Reporte de Niveles de Señal por Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 3G-850MHZ	61
Figura 4.35 Análisis de Niveles de Potencia Recibidas CLARO 3G-850MHZ	61
Figura 4.36 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 3G - 1900MHZ Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua	62
Figura 4.37 Histograma y Reporte de Niveles de Señal por Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 3G -1900MHZ	63
Figura 4.38 Análisis de Niveles de Potencia Recibidas CLARO 3G-1900MHZ	63
Figura 4.39 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 2G - 850MHZ Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua	64
Figura 4.40 Niveles de Señal de Cobertura Aproximada para CLARO 2G-850MHZ Desde Google Earth de la Ciudad de Managua	65
Figura 4.41 Histograma y Reporte de Niveles de Señal de Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 2G -850MHZ	65
Figura 4.42 Análisis de Niveles de Potencia Recibidas CLARO 2G-850MHZ	65
Figura 4.43 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 2G - 1900MHZ Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua	66
Figura 4.44 Niveles de Señal de Cobertura Aproximada para CLARO 2G-1900MHZ Desde Google Earth de la Ciudad de Managua	67
Figura 4.45 Histograma y Reporte de Niveles de Señal de Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 2G -1900MHZ	67
Figura 4.46 Análisis de Niveles de Potencia Recibidas CLARO 2G-1900MHZ	67
Figura 4.47 Resultados de Drive Test de YOTA NICARAGUA en Wi Max 802.16e (2500MHZ)	69
Figura 4.48 Potencia en dBm de Servidoras y Vecinas y su Sumatoria (YOTA NICARAGUA)	69
Figura 4.49 Sumatoria de Potencia W de Servidoras y Vecinas; Comparación con Límites UIT-T K52 (YOTA NICARAGUA)	70



<i>Figura 4.50 Ruta de Drive Test de Claro en Tems Investigations</i>	71
<i>Figura 4.51 Ruta de Drive Test de Claro en Google Earth</i>	71
<i>Figura 4.52 Potencia en dBm de Servidoras y Vecinas y sus Sumatorias (CLARO NICARAGUA)</i>	72
<i>Figura 4.53 Potencia en W/m<sup>2</sup> de GSM, WCDMA y Combinación de GSMA y WCDMA en W/m<sup>2</sup> y J/m<sup>2</sup></i>	73
<i>Figura 4.54 Comparación con Límites UIT-T K52 (CLARO NICARAGUA)</i>	73
<i>Figura 4.55 Potencia en dBm de RSSI para UARFCN #1 (850 MHZ) y UARFCN 2 (1900 MHZ) de CLARO</i>	74
<i>Figura 4.56 Límites UIT-T K52 vs Potencia en Watt de RSSI para UARFCN #1 (850 MHZ) y UARFCN 2 (1900 MHZ) de CLARO</i>	75



## LISTA DE TABLAS.

<i>Tabla 2.1 : Lista de Países con Normativas de Control de Emisiones de RNI</i>	12
<i>Tabla 3.1 Áreas y Personal Entrevistado de TELCOR</i>	19
<i>Tabla 3.2 Programación de Drive Test Yota Nicaragua</i>	23
<i>Tabla 4.1 Bandas de Frecuencia y Tipos de Antenas</i>	29
<i>Tabla 4.2 Estándares y Parámetros de Antenas</i>	30
<i>Tabla 4.3 Tipos de Radiotransmisores</i>	31
<i>Tabla 4.4 Resultados de Simulaciones en Función del Estándar, Espectro Asignado, Tipo de Antena y Configuración de Radiotransmisores por Sector.</i>	40
<i>Tabla 4.5 Resultados de Simulaciones en Función del Estándar, Espectro Asignado, Tipo de Antena y Configuración de Radiotransmisores para un Cluster 7/21.</i>	50

## LISTA DE SOFTWARE.

1. *MATLAB 7.0 R12.*
2. *ATOLL.us. 2.8.0.2808, Radio Network Planning (FORSK).*
3. *TEMS Investigation de ASCOM.*
4. *Mapas Digitales de Managua Nicaragua.*
5. *MapInfo 3.1.*
6. *Google Earth.*
7. *Google maps.*
8. *Microsoft Excel 2010.*
9. *Microsoft Word 2010.*
10. *OPTis-WX Analyzer.*



## LISTA DE ACRÓNIMOS.

TELCOR	Instituto de Telecomunicaciones y Correos “Nicaragua”.
RNI	Radiaciones No-Ionizantes.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
IARC	International Agency Research on Cancer.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
ARPANSA	Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.
SSK	Statement by the German Commission on Radiological Protection, (SSK, por sus siglas en Alemán).
IEGMP	Independent Expert Group on Mobile Phones.
NRPB	Independent Expert Group on Mobile Phones.
RSC	Royal Society of Canada.
SA	Specific Absorption.
SAR	Specific Absorption Rate.
EEG	Electroencefalografía.
ELF	Extremely Low Frequency
GSM	Global System for Mobile; Originally, GROUPE SPÉCIAL MOBILE.
CITEL	Comisión Interamericana de Telecomunicaciones.
MINSA	Ministerio de Salud “Nicaragua”.
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
CSJ	Corte Suprema de Justicia, “Nicaragua”.
CEM	Campo Electromagnético.
EMF	Electromagnetic Field.
OEA	Organización de Estados Americanos.
TER	Tasa de Exposición Total(TER, por sus siglas en inglés).
FCC	Federal Commission Communications, “USA”.
DSM	Directorio Estadístico de Enfermedad Mental.
LTE	Long-Term Evolution.
MTC	Ministerio Transporte y Comunicaciones “Perú”.
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales.
ANSI	American National Standard Institute.
MPHPT	Ministerio de Gestión Pública, Asuntos de Interior y Telecomunicaciones, “Japón”(MPHPT, por sus siglas en inglés).
NCRP	Consejo Nacional de Protección ante Radiaciones, “USA”.
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones, “Perú”.
SSI	Instituto Sueco de Protección Contra Radiaciones, “Suecia”(SSI, por sus siglas en inglés).
MIC	Ministerio de Información y Comunicaciones, “Korea del Sur”.



## LISTA DE SÍMBOLOS.

$A/m$	Amperios Sobre Metros.
$V/m$	Voltios Sobre Metros.
$W/m^2$	Watts Sobre Metros Cuadrados (Densidad de Potencia).
$W/Kg$	Watts Sobre Kilogramos.
$\vec{E}$	Intensidad de Campo Eléctrico.
$\vec{H}$	Intensidad de Campo Magnético.
$\vec{P}$	Vector de Onda Plana.
$\lambda$	Longitud de Onda.
$L$	Región de Campo Lejano.
$S(R, \theta, \varphi)$	Densidad de Potencia.
$f(\theta, \varphi)$	Ganancia Numérica Relativa de la Antena.
$EIRP$	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente, (Por sus siglas en inglés).
$dBi$	Decibelios Isotrópicos.
$S_i$	Densidad de Potencia en Instante de Tiempo de Exposición.
$t_i$	Tiempo de Exposición.
$S_l$	Límite de Referencia.
$\varphi^{-1}$	Distribución Acumulativa Inversa.
$\sigma$	Conductividad del Tejido Corporal (S/m).
$\tilde{n}_m$	Densidad del tejido Corporal (Kg/m <sup>3</sup> ).
$Z_0$	Impedancia Intrínseca del Medio al Vacío.
$R$	Distancia de la Antena hasta el Punto de Medición, (Magnitud del Vector de Onda Plana).
$\theta$	Ángulo de Elevación del Patrón de Radiación de la Antena.
$\varphi$	Ángulo de Acimutal del Patrón de Radiación de la Antena.
$d_m$	Magnitud Vectorial de un Paso.
$d_{m_i}$	Magnitud Vectorial para n Pasos.
$f$	Frecuencia (Ciclos).
$t_{avg}$	Tiempo de Promediación.
$p(0,0)$	Origen Plano Cartesiano.
$x_0$	Posición Inicial en Eje X para 1 Paso.
$y_0$	Posición Inicial en Eje Y para 1 Paso.
$x_f$	Posición Final en Eje X para 1 Paso.
$y_f$	Posición Final en Eje Y para 1 Paso.
$x_{1,i}$	Posición Inicial en Eje X para n Pasos.
$y_{1,i}$	Posición Inicial en Eje Y para n Pasos.
$x_{1,i+1}$	Posición Final en Eje X para n Pasos.
$y_{1,i+1}$	Posición Final en Eje Y para n Pasos.





# CAPÍTULO I.

## 1 Introducción.

Este capítulo introductorio presenta una breve reseña de la evolución de las telecomunicaciones móviles en general y en particular dentro del contexto nacional y su relación con la exposición humana a radiaciones no-ionizantes (RNI), específicamente, producto de las emisiones de las antenas instaladas en las estaciones bases de telefonía celular. Además, se proporciona información relevante sobre estudios realizados sobre las radiaciones no-ionizantes y su exposición a las personas producidas por los servicios de telefonía móvil.



## 1.1 Fundamentos Básicos.

Los servicios de telecomunicaciones en Nicaragua en general, han experimentado un gran crecimiento en la última década (2000-2010), pero es la telefonía móvil la que ha experimentado el mayor auge. De acuerdo con el Instituto de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR), Ente Regulador de los Servicios de Telecomunicaciones y Servicios Postales en Nicaragua, se estima que hasta el año 2011 los usuarios del servicio de telefonía celular son aproximadamente de 3,824,000, sobrepasando largamente a los usuarios de la telefonía fija que hasta el año 2008 se registran 252,000[1]. El crecimiento de las telecomunicaciones con la telefonía móvil y las redes inalámbricas a la cabeza es evidente, constituyéndose en la práctica en el único medio para dar servicio telefónico a las zonas urbano-marginales y ciertas zonas rurales. Paralelo a este vertiginoso crecimiento algunos sectores de la población han desarrollado una seria preocupación por los posibles efectos de las radiaciones no-ionizantes de los servicios de telecomunicaciones en general y de la telefonía celular en particular.

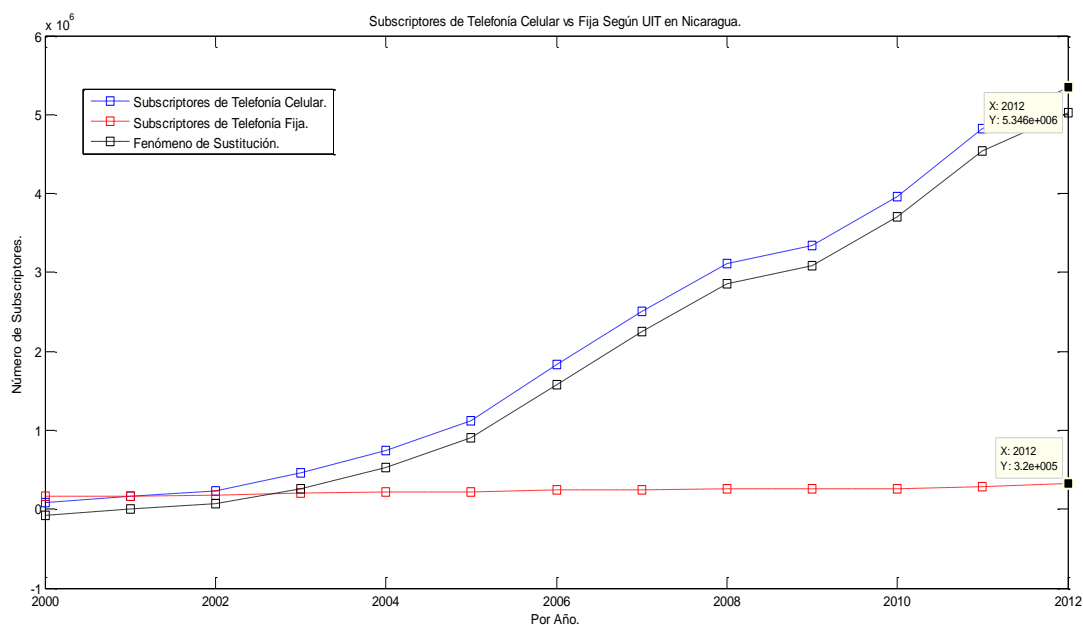
Según datos proporcionados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) Nicaragua presentó a partir del año 2005 crecimientos significativos de personas que hacen uso de un teléfono celular, de forma que para el año 2012 la UIT dentro de sus estadísticas expuso que en Nicaragua de cada 100 habitantes 89.77 de estos hacen uso de telefonía celular, por otro lado la UIT muestra dentro de sus estadísticas que hasta el año 2012 el 96% de la población mundial está cubierta por señal de telefonía celular lo que demuestra la alta penetración que no solo existe en Nicaragua sino a nivel mundial.

De aquí resulta otro dato muy importante, al analizar el número de subscriptores de telefonía fija según la UIT, la diferencia con el número de subscriptores de telefonía celular es muy considerable lo que permite dar paso un fenómeno de sustitución<sup>12</sup> que de acuerdo a los datos ofrecidos por la UIT, como lo muestra la Figura 1.1, este fenómeno aumenta significativamente en el tiempo de modo que el predominio de la telefonía celular y la dependencia de la misma por parte de los nicaragüenses es evidente; lo que implica que las emisiones de radiaciones no-ionizantes generadas a partir de los sistemas radiantes de telefonía móvil aumentan proporcional al fenómeno de sustitución; la densidad poblacional y los niveles de tráfico en las redes celulares en función de la demanda de servicios son un factor de mucho interés para conocer los puntos críticos geográficamente donde las personas estarían sometidas a niveles de emisión de Radiaciones No-Ionizantes (RNI) considerables por parte de los sistemas de telefonía celular.

<sup>1</sup>NALEBUFF, Barry J.; BRANDENBURGER, Adam. "Coopetencia". Editorial Norma. Bogotá, 1996

<sup>2</sup>ECON. "Fixed-Mobile substitution (Second Report for BT)". Londres, Marzo 2000.; YANKEE GROUP. "Barriers to Landline Displacement". Boston, December 2000.; UNION INTERNACIONAL DE LAS TELECOMUNICACIONES. "Forecasting the mobile communications: A finger in the airwaves?" Ginebra, Marzo 1996.; entre otras.





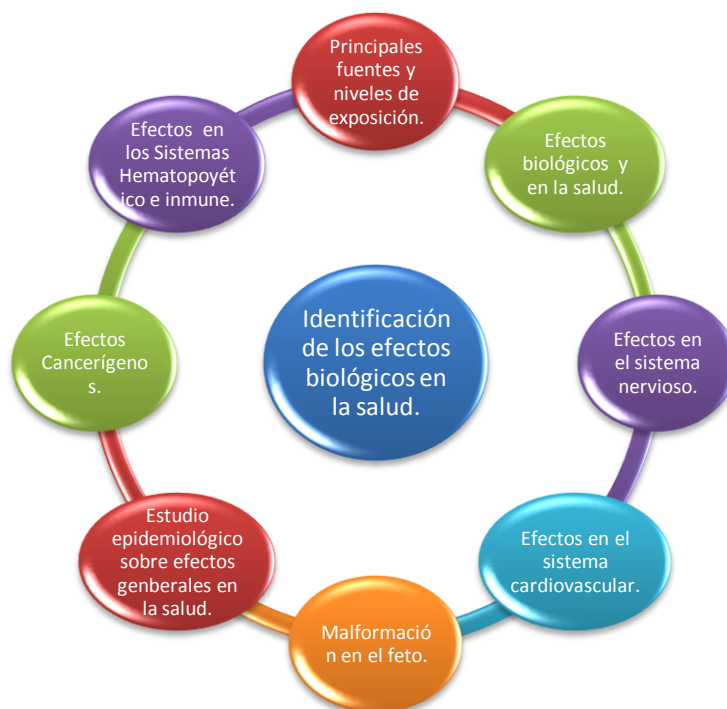
**Figura 1.1 Subscriptores de Telefonía Celular vs Fija en Nicaragua Según la UIT.**

## **1.2 Las RNI Producidas por Telefonía Móvil y la Salud Humana.**

Actualmente se han realizado muchos estudios para determinar los efectos biológicos<sup>3</sup> y en la salud relacionados a las radiaciones no-ionizantes. En la figura 1.2 se muestran los principales aspectos a considerar dentro del análisis de riesgo para la salud humana por efecto de Radiaciones No-Ionizantes en la identificación de los efectos biológicos y la salud. Para la evaluación de los efectos en la salud hemos realizado una revisión de los principales documentos publicados por organizaciones internacionales y entidades nacionales de varios países tales como<sup>4</sup> el *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)*[2], la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)*[3], la *International Agency for Research on Cancer (IARC)* y la Organización Mundial de la Salud (OMS)[4], la *Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA)*[5], la Comisión Alemana para Protección Radiológica (SSK, por sus siglas en alemán)[6], la Comisión Europea[7], el Consejo de Salud de Holanda[8],[9], el Grupo de Expertos Independientes en Teléfonos Móviles (IEGMP, por sus siglas en inglés)[10], el Consejo Nacional de Protección Radiológica (NRPB Por su siglas en Inglés),[11][12]del Reino Unido y la Royal Society of Canadá (RSC)[13]. Finalmente se revisó información sobre los resultados publicados del estudio Interphone[14][15].

<sup>3</sup>Servicio BEM-Investigación, Hospital Ramón y Cajal; Alejandro Úbeda Maeso; BASES BIOLÓGICAS PARA NORMATIVAS DE PROTECCIÓN ANTE RADIACIONES NO IONIZANTES.

<sup>4</sup>Preciso para conocer cuáles son las posiciones de cada uno de los organismos considerados que de manera particular o conjunta han desarrolla investigaciones en función que si las emisiones de ondas de radio afectan o no en el algún grado la salud humana, que permita un punto de partida sustancial para este trabajo de investigación.



**Figura 1.2 Identificación de los Efectos Biológicos en la Salud ante las RNI.**

### **1.2.1 Principales Fuentes y Niveles de Exposición.**

La exposición externa a radiaciones no-ionizantes de las estaciones de telecomunicaciones, se mide en términos del campo eléctrico (V/m), campo magnético (A/m o Teslas) y densidad de potencia ( $W/m^2$ ). La exposición interna para las radiofrecuencias se mide en términos de la tasa de absorción específica (SAR, Por su siglas en Inglés) ( $W/kg$ ). La relación entre el campo electromagnético y la tasa de absorción específica no es directa y se calcula mediante modelos matemáticos. Las fuentes principales básicamente toman dos formas<sup>5</sup>: *La radiación de las estaciones fijas que provocan exposición de cuerpo entero*, que generalmente producen niveles de exposición relativamente bajos. En el caso de las estaciones base, las radiaciones no-ionizantes normalmente están muy por debajo de los límites permisibles y generalmente la exposición es involuntaria. *La radiación de estaciones no fijas*, que tiene como elementos más importantes a los teléfonos móviles, provocan una exposición básicamente localizada en la cabeza aunque con el uso de dispositivos de manos libres la exposición principal podría darse en otras zonas del cuerpo. Para distancias menores que 1 cm puede ser cientos de V/m [12].

<sup>5</sup>Medio Ambiente; Antonio Foti; Las Radiaciones No-Ionizantes y la Salud. Argentina, 2005.



De acuerdo con cálculos realizados y publicados en las literaturas especializadas, los valores máximos del campo entre 2 y 3 cm de la cabeza fueron de 400 V/m (424,4 W/m<sup>2</sup>) para un teléfono móvil de 2W a 900 MHz y 200 V/m para 1W a 1800 MHz (106,1 W/m<sup>2</sup>)[5][11] y la parte de potencia absorbida por la cabeza es aproximadamente del 40% de la potencia emitida[6]. En cuanto a la exposición interna, se ha evidenciado para voluntarios humanos expuestos a SAR de 4 W/kg por 15 a 20 minutos que el promedio de incremento de temperatura fue de 0,2 a 0,5 °C lo que es completamente aceptable para gente sana. La población expuesta está constituida por un gran porcentaje de la población incluyendo fetos, bebés, niños, jóvenes, adultos y ancianos, asimismo en recientes estudios con modelos de teléfonos móviles se pudo encontrar que para potencias promedio temporal de 0,25 W en la banda de 900 MHz el SAR era aproximadamente 1,6 W/kg y predecía un máximo incremento de temperatura del cerebro de 0,1 °C [6][11][12], pero dependerá también de la forma del tejido. En el caso de tejidos en forma de película se ha evaluado niveles de SAR de hasta 2,28 W/kg y el incremento de la temperatura llegó a 0,25 °C. Pero en experimentos realizados para personas que realizan una llamada de 30 minutos se encontró que la ausencia de propagación del calor por convección debido a la sola presencia del teléfono causa un incremento de temperatura (0,9 °C) que es mayor que el incremento de temperatura por el SAR (0,1 °C) [12].

### **1.2.2 Efectos Biológicos y en la Salud.**

De los estudios realizados se ha demostrado que los efectos en la salud se dan como consecuencia del efecto térmico de las radiaciones no-ionizantes que se producen cuando la tasa de absorción específica (SAR) es mayor a 4W/kg generando un incremento de temperatura mayor a 1 °C.<sup>6</sup> El indicador más sensible que puede ser definido como efecto nocivo para la salud durante la exposición a campos electromagnéticos es el comportamiento que puede ser alterado mucho antes que aparezcan lesiones anatómicas debido a exposiciones fuertes[2][3][5] [10]-[14]. De los estudios de efectos en seres humanos sobre la función cognitiva y memoria, electroencefalogramas, disturbios del sueño y potenciales relacionados con eventos, dolor de cabeza, fatiga, hipersensibilidad, efectos en la presión sanguínea y el ritmo cardiaco, se observa que la evidencia de efectos adversos para exposición de bajo nivel es no convincente e inconsistente[2][3][5][10]-[14]. Los estudios del Programa de Investigación en Alemania sobre Telecomunicaciones Móviles han fracasado en confirmar reportes previos de impactos relevantes a la salud sobre la calidad del sueño, la afectación de las habilidades cognitivas, o cambios en el EEG como resultado de los campos de teléfonos móviles[6]. Varios estudios han demostrado que la exposición a radiofrecuencias puede afectar el transporte de los iones de calcio, sodio

<sup>6</sup>Universidad de Buenos Aires; Christian Emiliano Donnewald; Dr. Carlos Fabián Damir; Enfoque Actual de las Radiaciones No-Ionizantes, Argentina 2009.



y potasio a través de la membrana celular, pero es extremadamente probable que sea un efecto térmico.

Hay evidencia de que los campos de radiofrecuencia pueden afectar las proteínas de las membranas y cambiar el movimiento de iones a través de dichas membranas, algunos de estos efectos solamente pueden ocurrir para temperaturas muy por debajo de la temperatura normal del cuerpo o con intensidades de campo que causan calentamiento significativo. En el caso de los teléfonos móviles hay algunas evidencias que sugieren cierta influencia sobre los canales de iones y otras proteínas de la membrana de neuronas en el cerebro bajo condiciones normales, lo cual puede causar cambios sutiles en la función celular, pero se desconoce la significancia de tales efectos para la salud humana[5][10]-[14]. Aunque el peso de la evidencia sugiere que hay efectos en la liberación de calcio del tejido cerebral para niveles no térmicos los resultados son contradictorios y algunos investigadores sugieren que esos efectos se deben a los campos modulantes de frecuencias extremadamente bajas (ELF Por sus siglas en inglés) de alrededor de 16 Hz. Los estudios con teléfonos móviles de tecnología GSM señalan que no hay clara indicación de que haya efectos sobre los niveles o la señalización del calcio en los linfocitos [5][10]-[14].

Existe evidencia que la exposición a campos de radiofrecuencia de alta intensidad, es suficiente para causar un incremento significativo en la temperatura del tejido, que reduce la excitabilidad de las neuronas; mientras que la exposición a campos de radiofrecuencia de baja intensidad no produce efectos en la excitabilidad neuronal[5][10]-[14]. Hay algunos estudios que sugieren que la exposición a campos de teléfonos móviles mayor a 25 minutos por día puede ser asociado con una baja en el nivel de melatonina[14], pero hay pocos estudios realizados que en conjunto no sugieren que los campos de radiofrecuencia afecten la función de la glándula pineal o la secreción de melatonina[3][5]-[8][10]-[14]. Los efectos adversos en el ojo (p. ej. cataratas) por la exposición a la radiofrecuencia solamente se han asociado con incrementos de temperatura significativos. Las intensidades de los campos pulsantes de radiofrecuencia utilizadas en los estudios sobre los ojos estuvieron muy por encima del SAR<sup>7</sup> proveniente del uso de los actuales teléfonos móviles. No hay evidencia de efectos oculares significativos (incluyendo cáncer) para valores debajo de 4W/kg[2][10]-[14]. Los resultados de varios estudios señalan que la exposición a intensidades de campos relativamente altas de los teléfonos móviles puede afectar la actividad del cerebro durante el ciclo del sueño, pero no hay razón para suponer que ello implique un peligro a la salud[5][10]-[14]. Algunos estudios experimentales<sup>8</sup> han sugerido que la radiación de radiofrecuencia de alto nivel y en algunos a niveles sub térmicos puede iniciar la formación de tumores, incrementar los efectos cancerígenos

<sup>7</sup> *Inictel; Universidad Nacional de Ingeniería, Mag. Ing. Victor Cruz Ornetta; La Telefonía móvil y su Salud, Perú; 2001.*

<sup>8</sup> *MSC, Ministerio de Sanidad y Consumo; Campos Electromagnéticos y Salud Pública. Madrid; 2001.*



o promover el crecimiento de tumores trasplantados. Se ha planteado la hipótesis de que la exposición recurrente a la radiación de teléfonos móviles podría llevar a la expresión crónica de las proteínas de choque térmico en el tejido cerebral de los usuarios y eso a su vez inducir o promover cáncer [14], pero el balance de la evidencia nos muestra que ni los experimentos *in vitro* ni los experimentos *in vivo* indican que la exposición aguda o crónica a campos de radiofrecuencia incrementan las frecuencias de mutación o aberración cromosómica cuando las temperaturas son mantenidas dentro de los límites fisiológicos. Esto sugiere que es muy poco probable que la exposición a campos de radiofrecuencia actúe como un iniciador de tumores [5][10]-[14].

Los estudios en seres humanos no señalan ningún motivo de preocupación por los efectos de los teléfonos móviles sobre el corazón o la circulación. No se ha reportado efectos de la radiofrecuencia de baja potencia sobre el sistema cardiovascular ni sobre la regulación de la presión sanguínea [14]. Para exposiciones a campos electromagnéticos que producen más de 1 °C de incremento, pueden ocurrir efectos adversos como retardo del crecimiento del feto, malformación en el desarrollo y cambios posnatales en el comportamiento con efectos más graves a temperaturas maternas mayores [2][3][5][10]. La mayoría de datos en animales indican que es poco probable que sean afectados la implantación del embrión y el desarrollo el feto por exposiciones que incrementen la temperatura del cuerpo en menos de 1 °C. No hay evidencia convincente en estudios con roedores, que la exposición a campos de radiofrecuencia a los niveles asociados con la telefonía móvil planteen un riesgo para el feto o la fertilidad masculina. El balance de la evidencia de los estudios epidemiológicos ocupacionales no indica que la radiación de radiofrecuencia ponga en riesgo de cáncer a las personas<sup>9</sup>[16][17]. Sin embargo, debido a ciertos defectos en el diseño y a su falta de casuística respecto de la telefonía móvil<sup>10</sup> no se puede concluir que la ausencia de hallazgos positivos consistentes signifique que no hay un riesgo importante asociado con la telefonía móvil por lo que deben tomarse medidas regulatorias que permitan el control de las emisiones de RNI de los sistemas de telefonía celular.

<sup>9</sup> Inictel; Universidad Nacional de Ingeniería, Radiaciones No-Ionizantes y la Salud; Antenas de Telecomunicaciones y Redes de Energía Eléctrica, Perú, 2006.

<sup>10</sup>Facultad de Ciencias Médicas – Uncuyo; Saraví F. D.; Telefonía Móvil (Celular) la Salud Humana; Vol 3- N°1-2007; ISSN 1669 – 8991.



### **1.3 Planteamiento del Problema.**

En Nicaragua la falta de estudios especializados basados en la simulación y mediciones de campo bajo los estándares internacionales dispuestos por la UIT que permitan conocer la situación actual del país en relación a las RNI generadas por los elementos radiantes de una red celular ha sido y es una necesidad para la existencia de una normativa de evaluación y control de radiaciones no-ionizantes para los sistema de telefonía móvil celular ; esto se suma a la preocupación de diversos sectores de la población nacional sobre los posibles efectos que las radiaciones no-ionizantes producen en la salud humana, considerando el aumento de usuarios de este servicio, así como la tendencia a emigrar a tecnologías que aumentarían los números de emplazamientos dentro de las ciudades y zonas rurales. Bajo esta premisa; ¿Porque es necesario determinar los niveles de emisiones electromagnéticas generadas por los elementos radiantes de las redes celulares en Nicaragua?

Este trabajo tiene un alto valor para ser considerado como una referencia para la elaboración de una normativa técnica dentro del marco legal de las telecomunicaciones de Nicaragua basado en simulaciones y mediciones de campo según las disposiciones de la UIT (para el tema de las RNI). *Por otro lado este trabajo permitirá conocer cuál es el panorama actual del tema de las radiaciones no-ionizantes relacionados a los sistemas de telefonía móvil, principalmente desde la perspectiva técnica funcional de este tipo de sistemas; esto dará un paso importante al desarrollo y un aporte significativo en concepto de regulación dentro de las Telecomunicaciones en Nicaragua.*

### **1.4 Objetivos.**

#### **1.4.1 Objetivo General.**

Determinar los niveles de radiaciones no-ionizantes generadas por los elementos radiantes de los sistemas de telefonía celular en Nicaragua mediante técnicas de simulación y mediciones de campo, de forma que los resultados de las simulaciones y las mediciones de campo puedan ser evaluables en función de los límites propuestos por la ICNIRP y la UIT-T K52.

#### **1.4.2 Objetivo Específicos.**

Realizar un estudio de la experiencia de otros países con relación a los aspectos regulatorios vinculados al manejo y control mediante medidas regulatorias y precautelares de las radiaciones no-ionizantes (RNI) y de igual forma, conocer el estado del arte sobre estudios realizados sobre las radiaciones no-ionizantes y su exposición a las personas producidas por los servicios de telefonía móvil.





Realizar simulaciones para escenarios idealizados (para el peor caso) y simulaciones basadas en Radio Network Planning de forma que los resultados obtenidos de las simulaciones puedan ser comparados con los límites de la ICNIRP y la UIT-T K52 relacionadas a densidad de potencia y SAR media en todo el cuerpo, partiendo de los aspectos técnicos, fundamentales y funcionales de una estación base, considerando estándar, banda de operación, y una configuración de máxima capacidad (Full Power).

Realizar mediciones de campo (Drive test), para determinar los niveles de potencia emitida por las antenas de telefonía celular en Nicaragua y así comparar dichas mediciones con los límites de la ICNIRP y UIT-T K52.

## **1.5 Contribución de la Tesis**

El presente documento, tiene como objeto brindar información relacionada con las Radiaciones No-Ionizantes (RNI), las cuales son emitidas por los sistemas radiantes (antenas) de los servicios de telefonía celular que operan en nuestro país. El estudio está basado en la percepción y preocupación existente en diversos sectores de la población nacional, sobre los efectos que podrían producir en la salud las RNI que emiten las antenas instaladas en el territorio nacional relacionadas a la telefonía celular. Parte de los contenidos en ésta monografía han sido presentados y publicados y/o aceptados para publicación en las siguientes conferencias internacionales los siguientes artículos:

- **O. N. Martinez** and M.R. Arias, “Radiaciones No-Ionizantes y la Salud Desde la Perspectiva de la Sociedad Nicaragüense” Proceedings del XXXII<sup>nd</sup> Conferencia Internacional de Centroamérica y Panamá (CONCAPAN XXXII), pp 1-6, Managua, Nicaragua, Nov. 2012.
- **O. N. Martinez** and M.R. Arias, “Análisis Sobre Exposición de Personas a Campos Electromagnéticos Emitidos por Redes Celulares Desplegadas en Ambientes Urbanos”, Proceedings del XXXIII<sup>rd</sup> Conferencia Internacional de Centroamérica y Panamá (CONCAPAN XXXIII), Publicado en Ciudad de Guatemala, Nov. 2013.

Otro aporte relacionado con este trabajo monográfico es la participación de una ponencia titulada: Radiaciones no-ionizantes y la salud desde la perspectiva Nicaragüense en la Segunda semana de la Ciencia del 01 al 05 de Octubre de 2012. De igual forma se participó con el paper, **O. N. Martinez** and M.R. Arias, “Análisis Sobre Exposición de Personas a Campos Electromagnéticos Emitidos por Redes Celulares Desplegadas en Ambientes Urbanos” para la feria tecnológica de la Universidad Nacional de Ingeniería “TECNO UNI 2013”.



## **1.6 Estructura de Contenido.**

El presente trabajo monográfico está estructurado en cuatro capítulos y sus anexos de la siguiente forma: en el primer capítulo se presenta la introducción del tema abordado en ésta monografía, donde se realiza una revisión general de la Telefonía celular móvil y las RNI así como la motivación propia del trabajo investigativo. En el capítulo 2 se aborda y analiza el estado del arte de las RNI en materia de regulación a nivel internacional y se presenta un listado de países que según la OMS poseen dentro de sus marcos regulatorios de telecomunicaciones normativas de control de RNI. En el Capítulo 3 se presenta un análisis de la situación actual de las RNI en los sistemas de telefonía celular de Nicaragua, que incluye la opinión de los distintos actores como son, los operadores de telecomunicaciones, el ente regulador de las telecomunicaciones en nuestro país, así como las universidades afines al campo de investigación, el ministerio de salud, y población en general. En el capítulo 4 se presentan los resultados de las mediciones de campo (*DRIVE TEST*) en la ciudad de Managua, el análisis de sus resultados, y las simulaciones desarrolladas mediante la recomendación de la UIT-T K52 [18][19]. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de investigación.





## **CAPÍTULO II.**

### **2 Análisis de Normativas de Control de RNI de Otros Países.**

En este capítulo se presenta un resumen de la revisión bibliográfica sobre las normativas de control de las RNI vigentes de varios países del mundo. Dicha información es importante tomarla como referencia sobre las leyes, reglamentos y normativas técnicas de control de emisión de ondas de radio de países alrededor del mundo que contemplan dentro de sus marcos legales estos instrumentos de regulación. Además se presenta un listado de países clasificados por regiones geopolíticas que tienen leyes, normativas técnicas o reglamentos que permitan el control de las radiaciones no-ionizantes.



En la Tabla 2.1 se presenta una lista de países que tienen dentro de su marco regulatorio de los servicios de telecomunicaciones, normativas de control de emisiones de RNI.

**Tabla 2.1: Lista de Países con Normativas de Control de Emisiones de RNI.**

Australia	ISRAEL	Taiwán	Corea
Japón	Singapur	Hong Kong	Canadá
Brasil	USA	N. Zelanda	Bélgica
Reino Unido	Francia	España	Italia
Portugal	Dinamarca	Finlandia	Alemania
Irlanda	Luxemburgo	Ecuador	Holanda
Perú	Grecia	Noruega	Turquía
Polonia	Hungría	República Checa	Letonia
Lituania	Malta	Eslovenia	Eslovaquia
Chipre	Estonia	Argentina	Colombia
Suecia	Paraguay	Chile	Malasia
China	India	Croacia	Marruecos
Pakistán	Filipinas	Romania	Sud África
Tailandia	Venezuela	Bolivia	Costa Rica.

La clasificación de los países por continentes se presenta a continuación en la figura 2.1 que consideramos como referencia para el análisis de estos instrumentos legales basados en la información pública disponible (normativas y reglamentos).



**Figura 2.1 Países con Instrumentos Legales para el Control de las RNI a Analizar.**



## 2.1 ÁFRICA.

En el caso del continente africano particularmente en Sudáfrica se estudió la ley para los límites de exposición especificados en la regulación 1302 de dicho país; es una recomendación del departamento de salud con la colaboración de la ICNIRP. Todas las directrices y la ley en general está basada en la recomendación de la ICNIRP98 ya que a la fecha, la cuantificación de los niveles de referencia óptimos para este país son desconocidos (No tienen sus propios límites de seguridad)<sup>11</sup>.

## 2.2 EUROPA.

En orden para proveer un marco común de restricciones básicas y niveles de referencia a los Estados Miembros de la Unión Europea, el Consejo Europeo adoptó en 1999 la Recomendación 1999/519/EC<sup>12</sup>, basada en las directrices de la [ICNIRP 98], en limitación a la exposición del público general a campos electromagnéticos (0 – 300 GHz), el cual también sirve como base para la legislación europea en productos y dispositivos emitiendo campos electromagnéticos. La recomendación está basada en el Artículo 152 del Tratado de la Unión Europea, la cual estatifica: *“Un alto nivel de protección a la salud humana debe ser garantizada en la definición e implementación de las actividades y políticas de la Comunidad”*. La Recomendación prevé que la Comisión emita reportes en su implementación al Consejo Europeo y al Parlamento Europeo en base a la información proveniente de los Estados Miembros y la última evidencia científica. El Primer Reporte de Implementación fue presentado a la Comisión en 2002<sup>13</sup>. El Segundo Reporte de Implementación fue presentado el 2008<sup>14</sup>, siendo la versión más actualizada de medidas tomadas en la región que conforman los países miembros de la Unión Europea. En cuanto a la exposición ocupacional, el Parlamento Europeo y el Consejo emitieron la Directiva 2004/40/EC, *‘Requerimientos Mínimos de Salud y Seguridad en cuanto a la Exposición de Trabajadores a los Riesgos Derivados de Agentes Físicos (campos electromagnéticos)’*<sup>15</sup>, cuyos valores límites de exposición, expuestos en el Anexo I, son los mismos que los de [ICNIRP 98] en cuanto a exposición ocupacional. La Directiva 2004/40/EC es modificada por la Directiva 2008/46/EC<sup>16</sup>, pero sin alterar los límites de exposición. Los países que cuentan con estas disposiciones se encuentran reflejados en la figura 2.2.

<sup>11</sup> Issued by National Department of Health; No exposure Limits are specified in regulation R1302; South Africa; 1991; [http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who0102/Africa/South\\_Africa\\_files/table\\_sa.htm](http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who0102/Africa/South_Africa_files/table_sa.htm)

<sup>12</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/files/lv/rec519\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/electrical/files/lv/rec519_en.pdf)

<sup>13</sup> [http://ec.europa.eu/health/ph\\_determinants/environment/EMF/implement\\_rep\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/health/ph_determinants/environment/EMF/implement_rep_en.pdf)

<sup>14</sup> [http://ec.europa.eu/health/electromagnetic\\_fields/docs/bipro\\_staffpaper\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/health/electromagnetic_fields/docs/bipro_staffpaper_en.pdf)

<sup>15</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:184:0001:0009:EN:PDF>

<sup>16</sup> <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:114:0088:0089:EN:PDF>



## 2.3 ASIA.

El Artículo 47-2 del Capítulo 5 del Acta de Ondas de Radio<sup>17</sup> de Corea del Sur establece que el Ministerio de Información y Comunicación (MIC, por sus siglas en inglés) decidirá y notificará los estándares de la protección del cuerpo humano ante onda de radio, los estándares de medición de tasa de absorción electromagnética, entre otros. Corea del Sur obedece a los límites recomendados por la [ICNIRP 98] para los parámetros de intensidad de campo eléctrico<sup>18</sup>. En cuanto al SAR, su límite para la cabeza y el tronco del cuerpo obedece el estándar C95.1-1991 '*Estándar para Niveles de Seguridad con Respecto a la Exposición a los Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia, 3 kHz a 300 GHz*' de la IEEE<sup>19</sup>, el cual es **1.6 W/kg (muestrado en 1 g de tejido)**<sup>20</sup>, siendo más estrictos que la estándar recomendado por la [ICNIRP 98] de **2 W/kg (muestreado en 10 g de tejido)**. En su reporte nacional del 2009<sup>21</sup> a la OMS, se plantea que hay un estudio pendiente para la revisión de la ordenanza de la KCC (Comisión de Comunicaciones de Corea), anteriormente la ordenanza de la MIC, para límites de exposición. Las cuestiones principales son la adición de límites de SAR para el torso y extremidades, inclusión de límites de SAR para trabajadores, así como límites para corrientes de contacto/inducidas y EMF's pulsantes. Los demás países expuestos en la figura 2.2 entre ellos Japón y la India se apegan a la ICNIRP 98.

## 2.4 AMERICA.

El Apéndice A del Boletín 65 de la Federal Communications Commission(FCC, por sus siglas en inglés) '*Evaluando el Cumplimiento de las Recomendaciones para la Exposición Humana a Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia de la FCC*'<sup>22</sup>, resume las políticas, recomendaciones y requerimientos adoptados por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés) en su documento '*Recomendaciones para Evaluarlos Efectos Ambientales de Radiación de Radiofrecuencia*'<sup>23</sup>. Los límites de Máxima Exposición Permisible están basados en los límites de exposición publicados por el Consejo Nacional de Protección ante Radiación y Mediciones (NCRP, por sus siglas en inglés) en su Reporte 86 '*Efectos Biológicos y Criterios de Exposición para*

<sup>17</sup>[https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:AnhWZ--eBLWj:rra.go.kr/FileDownSvl?file\\_type%3DLAWENG%26file\\_parentseq%3D34%26file\\_seq%3D1+&hl=es&gl=ni&pid=bl&srcid=ADGEESjOx\\_rjnSey-JYK4-0enje3A\\_EAjhcmWxLCmpUBf5-zhBzkIU9VL\\_yHvPj0RWrmCr8n8n2aV7VDh8F5T8MKjEICfxuWq0-dTjNfKRHAqEm0T\\_oy3Ee-XNaqFMPv-u6T1GQEqD8z&sig=AHIEtbRV\\_FieB9VN0L863EoWUObY55Qk2Q](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:AnhWZ--eBLWj:rra.go.kr/FileDownSvl?file_type%3DLAWENG%26file_parentseq%3D34%26file_seq%3D1+&hl=es&gl=ni&pid=bl&srcid=ADGEESjOx_rjnSey-JYK4-0enje3A_EAjhcmWxLCmpUBf5-zhBzkIU9VL_yHvPj0RWrmCr8n8n2aV7VDh8F5T8MKjEICfxuWq0-dTjNfKRHAqEm0T_oy3Ee-XNaqFMPv-u6T1GQEqD8z&sig=AHIEtbRV_FieB9VN0L863EoWUObY55Qk2Q)

<sup>18</sup><ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/cost/docs/pack.ppt> (Diapositiva 11)

<sup>19</sup>[http://www.euitt.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web\\_salud\\_medioamb/normativas/ieee/C95.1.pdf](http://www.euitt.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web_salud_medioamb/normativas/ieee/C95.1.pdf)

<sup>20</sup>[http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Asia/South\\_Korea\\_files/table\\_ks.htm](http://www.who.int/docstore/peh-emf/EMFStandards/who-0102/Asia/South_Korea_files/table_ks.htm)

<sup>21</sup>[http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/KOREA\\_IAC\\_Report\\_2009.pdf](http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/KOREA_IAC_Report_2009.pdf)

<sup>22</sup>[http://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/Documents/bulletins/oet65/oet65.pdf](http://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/bulletins/oet65/oet65.pdf)

<sup>23</sup>[http://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering\\_Technology/Orders/1996/fcc96326.pdf](http://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Orders/1996/fcc96326.pdf)



*Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia*<sup>24</sup>, secciones 17.4.1, 17.4.1.1, 17.4.2 y 17.4.3. En la banda de frecuencia entre 100 MHz y 1500 MHz, los límites de exposición para intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia también están basados en los límites de la Sección 4.1 del estándar C95.1-1991 '*Estándar para Niveles de Seguridad con Respecto a la Exposición a los Campos Electromagnéticos de Radiofrecuencia, 3 kHz a 300 GHz*' de la IEEE<sup>8</sup>, adoptado por ANSI como estándar americano nacional en 1992. Para frecuencias mayores de 1.5 GHz, las recomendaciones de exposición ANSI/IEEE para intensidad de campo eléctrico y densidad de potencia dejan de ser similares que las del Reporte 86 de la NCRP.

Los límites de la FCC para el SAR están basados en los límites estipulados en la Sección 4.2 del estándar C95.1-2001 y los límites de la Sección 17.4.5 de la NCRP.

- **Límites para Exposición Ocupacional:**  $0.4 \text{ W/kg}$  promediado sobre todo el cuerpo, sin exceder  $8 \text{ W/kg}$  como el pico espacial de SAR promediado sobre 1 gramo de tejido. Las excepciones son las manos, muñecas, pies y tobillos donde el pico espacial del SAR no puede exceder  $20 \text{ W/kg}$
- **Límites para Exposición al Público:**  $0.08 \text{ W/kg}$  promediado sobre todo el cuerpo, sin exceder  $1.6 \text{ W/kg}$  como el pico espacial de SAR promediado sobre 1 gramo de tejido. Las excepciones son las manos, muñecas, pies y tobillos donde el pico espacial del SAR no puede exceder  $4 \text{ W/kg}$ .

Los países latinoamericanos expuestos en la figura 2.1 se apegan a la ICNIRP 98.

## 2.5 OCEANIA.

La Agencia Australiana de Seguridad Nuclear y Protección contra Radiación (ARPANSA, por sus siglas en Inglés), en su documento '*Máximos Niveles de Exposición para Campos de Radiofrecuencia 3 kHz a 300 GHz*'<sup>25</sup> basa sus límites en la [ICNIRP 98], pero adopta en algunos rangos de frecuencias valores de la C95.1 para intensidad de campo eléctrico.

<sup>24</sup><http://www.ncrppublications.org/Reports/086>

<sup>25</sup> <http://www.arpansa.gov.au/pubs/rps/rps3.pdf>

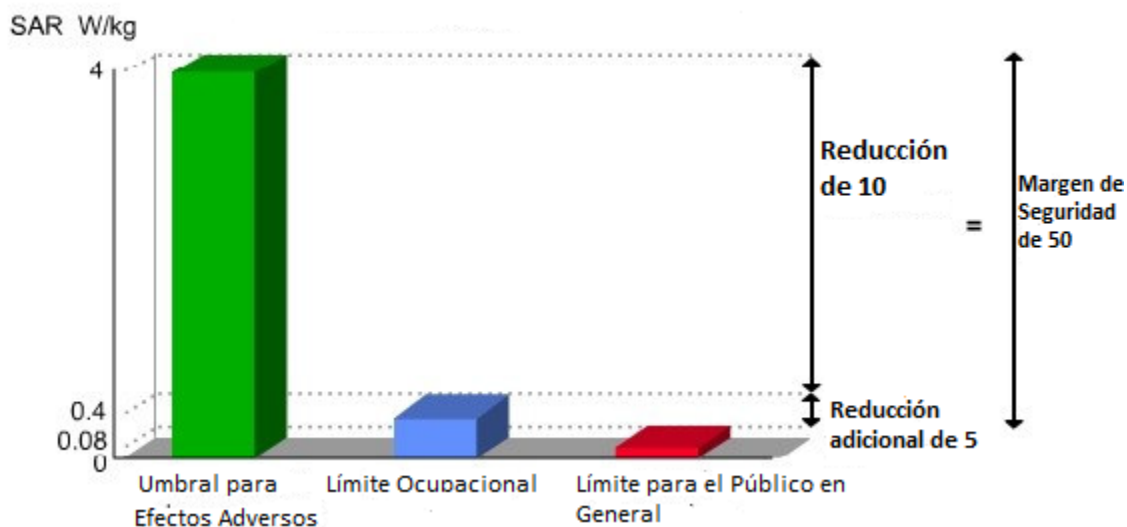


Fig. 2.2 Límites de Tasa de Absorción Específica. Fuente<sup>26</sup>

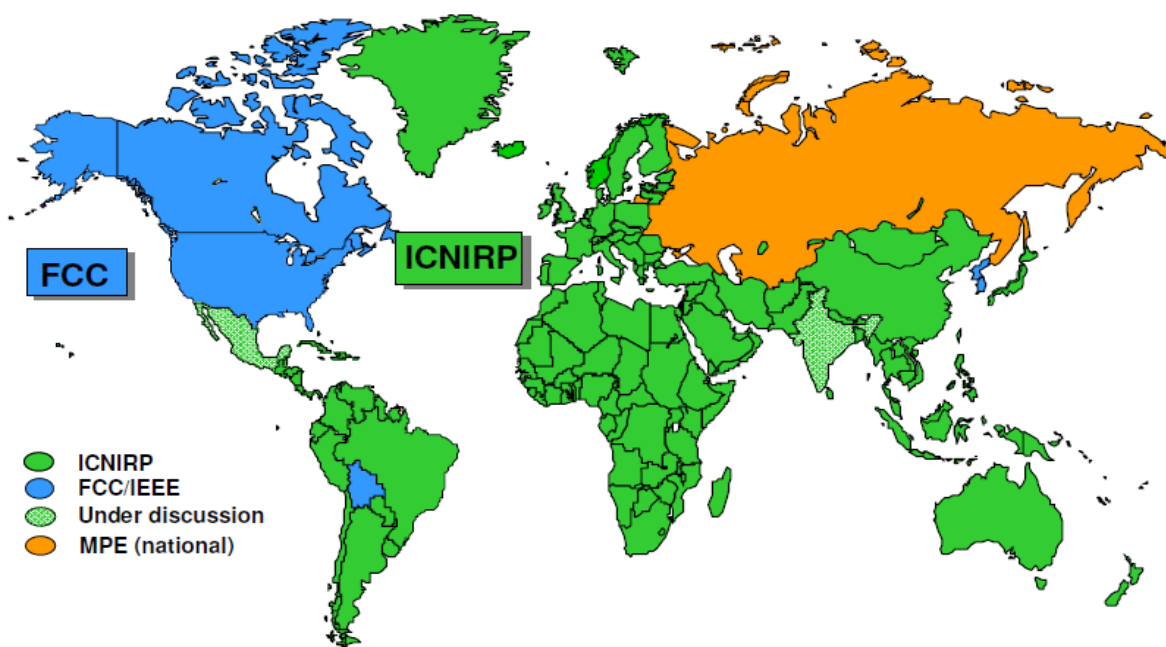


Fig. 2.3 Límites y Protección de EMF. Fuente<sup>61</sup>

<sup>26</sup>[http://www.itu.int/ITU-D/partners/Events/2007/NewDelhi\\_3-5Apr07/Presentations/KenJoyner\\_MMf.PDF](http://www.itu.int/ITU-D/partners/Events/2007/NewDelhi_3-5Apr07/Presentations/KenJoyner_MMf.PDF)



## **CAPÍTULO III.**

### **3 Antenas de Telefonía Celular y la Salud Humana en Nicaragua, Caso de Estudio.**

En este capítulo se presenta un análisis en cuanto a la opinión de la población nicaragüense sobre a los efectos que producen en la salud las emisiones electromagnéticas generadas por las antenas de redes celulares. Adicionalmente se presenta la opinión de profesionales y expertos que incluye la posición del Ministerio de Salud (MINSAL), y del ente regulador de las Telecomunicaciones de Nicaragua (TELCEL). Además, se incluye a las operadoras de servicios de telecomunicaciones móviles como parte del estudio asociados aspectos meramente técnicos.





### **3.1 La Población Nicaragüense Consultada.**

Actualmente Nicaragua cuenta con una población muy joven y con un nivel académico promedio que se enmarca entre estudios primarios y secundarios con un reducido analfabetismo pero también con un bajo índice de educación en grados universitarios, a nivel de licenciatura e ingenierías así como formación de posgrado; el 96% de las personas consultadas dijeron usar un teléfono celular y un 4% dijo que no, también un 45% dijo usar telefonía celular de las dos operadoras existentes actualmente en Nicaragua y un 55% dijo que no, evidenciando lo que la UIT reporta del país en cuanto al número de usuarios del servicio celular. Cuando se les consultó sobre qué información tenían sobre los campos electromagnéticos y sus efectos sobre la salud humana un 69.79% cree que perjudican de una u otra forma; sin embargo constatamos el grado de incertidumbre y desconocimiento en cuanto al tema, donde los consultados manifestaban la gran utilidad de la comunicación celular pero al mismo tiempo la inseguridad en cuanto a que si ésta perjudica o no la salud.

#### **3.1.1 Antenas de Telefonía Celular.**

A la personas consultadas se les preguntó que opinaban de la instalación de antenas de telefonía celular cerca de sus casas y un 74.48% mostró su total descontento porque precisamente dichas antenas son consideradas como agente de enfermedades relacionadas directamente con el cáncer, aunque otros apuntaban a que éstas podrían caer por encima de sus viviendas en cualquier momento, sin embargo un 72.40% dijo no haber relacionado algún tipo de enfermedad o trastorno físico sufrido por su persona producto de la emisión electromagnética de las antenas celulares.[34]

#### **3.1.2 Regulación y Mayor Información.**

El nivel de preocupación en las personas consultadas fue evidente, en su mayoría, expresaban su temor y que mito o no la falta de información y el auge de estos sistemas, ha aumentado el descontento y la duda, que al final el perjuicio podría ser irreversible, tal como lo manifiesta un estudiante universitario consultado que dijo: *"Nadie puede enseñarnos la realidad de toda esta verdad tecnológica, solo nosotros si nos prestamos a este tipo de iniciativas, la radio frecuencia es un tema de actualidad y de mucho futuro y solo sé que estamos expuestos desde que despertamos hasta que nos acostamos, al final no sé qué pasará"*; otro ciudadano manifestó: *"Las compañías solo nos dicen que la calidad de la señal es perfecta, de promociones y otras cosas para su propio interés pero nunca nos dicen los efectos colaterales de estas antenas y lo peor que el estado tampoco se pronuncia"*. Un 94% de los consultados dijo que el tema de las antenas celulares, la salud y la falta de información, debería ser un tema de prioridad para TELCOR, MINSA y Operadoras y que además debe existir alguna medida preventiva que brinde seguridad y sosiego por parte de los reguladores.





Así mismo un 97% de los consultados manifestaron que la falta de información genera inseguridad y acrecienta los niveles de incertidumbre. Sin embargo estos piensan que si existiera una normativa que regulara los niveles de emisión electromagnética de las antenas celulares, disminuiría el riesgo de forma considerable; esto es verificable cuando se les preguntó su opinión en cuanto a la instalación antenas celulares cerca de sus casas pero ahora con normas que regulen los niveles de emisión y la opinión se dividió al 50%, contrario al 74.8% que mostró descontento (cuando no hay regulación). También el 96% de los consultados manifestó que es necesario que la población nicaragüense sea informada lo cual sería producto de la misma regulación, además se les preguntó si les gustaría saber si su teléfono celular es certificado para cumplir los niveles de exposición de ondas de radio y un 96% dijo que sí y que además lo usaría, pero un 98% dijo no usarlo si éste no fuera certificado, aún si fuera de bajo costo por temor a que su salud fuera afectada. Como consecuencia de la regulación, las personas consultadas creen que los riesgos serían menores<sup>27</sup>. Esto permite un ambiente propicio para el despliegue de infraestructuras de redes celulares, donde operadores como reguladores, usuarios y todo el sistema económico y social de Nicaragua serían los más beneficiados.

### **3.2 Ente Regulador de las Telecomunicaciones.**

"El Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos (TELCOR) es el "Ente Regulador" de los Servicios de Telecomunicaciones y Servicios Postales, una institución estatal, la cual tiene como funciones la normación, regulación, planificación técnica, supervisión, aplicación y control del cumplimiento de las Leyes y Normas que rigen la instalación, interconexión, operación y prestación de los Servicios de Telecomunicaciones y Servicios Postales.<sup>28</sup> Para conocer como TELCOR aborda el tema de las RNI provenientes de las redes celulares, se examinaron cuatro direcciones con el personal consultado que se muestran en la tabla 3.1. El proceso de consulta fue realizado en la semana del 11 al 23 de enero del 2013 en las instalaciones de TELCOR así como en las oficinas de Correos de Nicaragua.

**Tabla 3.1 Áreas y Personal Entrevistado de TELCOR.**

<b>Área o Dirección.</b>	<b>Funcionario.</b>
<i>Dirección de Políticas y Regulación. (DPR)</i>	<i>Ing. Norberto Hernández.</i>
<i>Dirección de Políticas y Regulación. (DPR)</i>	<i>Ing. Jaime Sánchez</i>
<i>Dirección de Calidad y Monitoreo del Espectro Radioeléctrico. (DCAMER)</i>	<i>Ing. Alma Cuadra.</i>

<sup>27</sup> La falta de información es uno de los efectos más perjudiciales para la población ya que la que está disponible es muy pobre o poco entendible para las grandes mayorías.

<sup>28</sup> Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correo. Quiénes Somos?  
[http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG\\_ID=7](http://www.telcor.gob.ni/Desplegar.asp?PAG_ID=7)



<i>Dirección de Calidad y Monitoreo del Espectro Radioeléctrico. (DCAMER)</i>	<i>Ing. Daniel Montesuma.</i>
<i>Dirección de Supervisión y Fiscalización. (DSF)</i>	<i>Msc. Ing. José Guillermo Valdivia Rojas.</i>
<i>Dirección de Supervisión y Fiscalización. (DSF)</i>	<i>Ing. Yves Montoya.</i>
<i>Dirección de Planificación y Desarrollo.</i>	<i>Ing. Ernesto Curi.</i>

De manera puntual los funcionarios dijeron que actualmente en Nicaragua no hay ninguna política de regulación de las RNI relacionadas a las redes celulares. Dentro de las principales limitantes destacadas es la ausencia de estudios propios (para Nicaragua) relacionados con los efectos de las RNI en la salud, así como la atención prioritaria a otros temas bajo demanda, relacionados con las condiciones del mercado. Según los funcionarios consultados el marco legal que actualmente está en uso por TELCOR es casi obsoleto, esto debido a los grandes cambios de las tecnologías, la diversificación de los servicios así como el aumento y exigencias de los mercados en Nicaragua. Sin embargo el ente regulador de las telecomunicaciones dentro del plan operativo del 2012 se incluyó la elaboración de una normativa para regular las RNI, dicha propuesta fue iniciada y desarrollada bajo la propuesta referencial o benchmarck<sup>29</sup> de la experiencia de otros países que incluyen dentro de su marco regulatorio una normativa basada en límites propios o que adopten los límites de la ICNIRP e IEEE. De forma unánime los funcionarios de las distintas direcciones consultadas respondieron que es una prioridad y de mucha relevancia el elaborar una normativa técnica que controle y regule las RNI, esto se debe en principio a los altos índices de penetración de los servicios de telefonía celular y además porque es un tema que causa mucha inquietud dentro de la población nicaragüense, además del gran y supremo interés que tiene TELCOR de salvaguardar la salud de la población. Otro punto de mucha importancia es que para TELCOR es ideal basar una normativa técnica que controle las RNI en límites propios de manera que estos también puedan ser relacionados a las disposiciones internacionales. Para las áreas de TELCOR entrevistadas el objetivo principal de realizar una normativa técnica que controle las RNI es precisamente el ordenamiento y control de los sistemas que producen RNI. También es parte del objetivo principal que dicha normativa sea basada en elementos reales apegada al contexto nacional; esto contribuirá a la protección en términos de salud de los propios usuarios que hacen uso de la telefonía celular así como la población expuesta. La metodología utilizada en principio fue consultar referencias bibliográficas disponibles, (OMS, ICNIRP, UIT y Estudios independientes así como las normativas de otros países), para luego llevarlo al contexto nacional. Los posibles beneficios que una normativa técnica para el control de RNI, según los funcionarios de TELCOR entrevistados traería a Nicaragua se muestran en la siguiente figura 3.1.

<sup>29</sup>Técnica utilizada para medir el rendimiento de un sistema o componente del mismo, frecuentemente en comparación con el que se refiere específicamente a la acción de ejecutar un benchmarking.



**Figura 3.1 Efectos de la Regulación y más Información Sobre la Percepción Social de las RNI De los Sistemas de Telefonía Celular.**

Para los funcionarios de TELCOR consultados estos beneficios pueden ser medidos mediante su representación en porcentaje en el crecimiento económico del país, esto mediante el crecimiento de usuarios; además dichos funcionarios explican que los grandes beneficiarios son en principio la población nicaragüense ya que habría más seguridad, sosiego y confianza hacia las redes celulares y su relación con la salud humana, también los operadores a través de un crecimiento y una mayor captación de usuarios así como de obtener un ambiente más propicio para el despliegue de nuevas infraestructuras.

### 3.3 Ministerio de Salud.

Velar por la protección de la salud de la población, actualmente no hay publicaciones serias que digan daño directo de las radiaciones no- ionizantes a la salud, pero si epidemiológicamente al uso del celular por daño en las células de los oídos.

Recomendamos su no uso, pero no está prohibido, porque es de libre albedrío usar o no un celular. Nuestra recomendación como dice la norma (Ver ANEXO F), si se llega a demostrarse cualquier daño a la salud, el permiso de la instalación de antenas es negativo y en esa posición estamos a nivel de todos los SILAIS y además si la población organizada por mayoría no los quiere, aunque no exista daño a la salud, también se da negativo. Si más adelante se da una prohibición a nivel internacional por el daño que produce a la salud, tendríamos que tomar una nueva decisión y elaborar una nueva norma.

*Dr. Jesús Marín Ruiz.*

*Dir. Toxicología MINSA. Docente Facultad de Medicina UNAN-MANAGUA.*

### 3.4 Operadores de Telefonía Celular (Voz y Datos).

El objetivo principal de obtener información de operadoras de telefonía celular es para obtener información necesaria para la simulación y la realización de mediciones de campo (Drive Test), de forma que sea posible poseer un panorama actual de las RNI generadas por las redes celulares en Nicaragua. A continuación el nivel de apoyo y disposición de las operadoras para esta investigación en torno al problema ya planteado.



### 3.4.1 American Móvil (Claro).

Inicialmente contactamos al Ing. Cristian Gómez, director del área de regulación de Claro Nicaragua, el cual nos atendió y él nos brindó sus impresiones al respecto.

- ***“El problema de las antenas de telefonía celular es de carácter social por la falta de conocimientos sobre el tema por parte de la población nicaragüense y sus distintos extractos sociales. Aparte de esto según la OMS no hay nada concluyente al respecto.***

Adicionalmente conversamos con el Ing. Luis Iván Ortiz, Gerente Técnico de Claro Nicaragua, y le solicitamos colaborar con información técnica para la realización de nuestro trabajo de investigación tales como:

1. Busy hour (carga de tráfico)
2. Lugares de mayor tráfico con sus horarios y días en Managua.
3. Altura máximas y mínimas de las antenas.
4. tipo de antena marca, modelo que permita conocer sus características técnicas: tilt eléctrico, mecánico, beamwidth, ganancia y ancho de banda de operación.
5. Potencia máxima y promedio de los radios transmisores si es posible  
Marca y modelo.
6. Número de emplazamientos en Managua.
7. Cellfile.(si no es posible es posible generar uno aproximado?)
8. Frecuencias de operación para 2g y 3g
9. Posición oficial de claro ante las RNI. Y como las telecomunicaciones en especial la telefonía celular como impacta económicamente Nicaragua.

Al solicitarle a CLARO apoyo para realizar las mediciones de campo (DRIVES TEST), su respuesta fue positiva y con un total compromiso de parte de esta operadora hacia esta investigación y ante la creciente necesidad que se experimenta en Nicaragua sobre las RNI, aportando equipamiento, personal especializado, transporte y otros requerimientos necesarios (nuestro Equipo de trabajo acompañó las mediciones). Es importante mencionar que para CLARO los lugares con mayor tráfico son Mercado Oriental, carretera a Masaya, Mercado Roberto Huembes y Metrocentro; principalmente los viernes en hora pico (5-7 PM).



### 3.4.2 YOTA de Nicaragua.

Yota Nicaragua colaboró bajo el término de confidencialidad de la empresa. De igual forma que a Claro Nicaragua se le hizo la solicitud de información técnica, accediendo a dicha información. A continuación se describe información técnica y especificaciones de algunos equipos de comunicación que usa Yota para su infraestructura de servicios de comunicación:

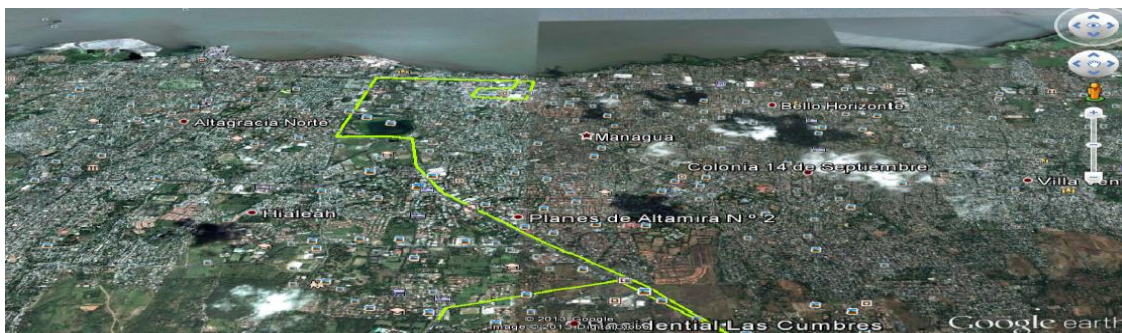
- ✓ Yota Nicaragua opera en la banda de 2.5 MHz (Up link: 2500 – 2530MHz; Down link: 2620 – 2650MHz).
- ✓ Tipos de antenas que utilizan son de marca Andrew para la banda de 2500MHz.
- ✓ Tipos de transmisores son de marca Samsung con una potencia de 8w.
- ✓ Las alturas de las antenas oscilan entre 20 y 30m en algunos casos hasta 46m.
- ✓ Los lugares de mayor tráfico son mercado oriental, metro centro y carretera a Masaya. Los horarios están entre 8AM – 6PM (Mercado oriental); para las otras localidades es por encima de las 3 de la tarde.
- ✓ El número de emplazamiento en Managua oscila entre 35 a 40 sitios.

A continuación se presenta la planeación de los Drive test a realizar.

**Tabla 3.2 Programación de Drive Test Yota  
Nicaragua.**

No.	Actividad	02-abr	05-abr	12-abr	19-abr	26-abr	Obs
1	Reunión de coordinación						1 a 2 pm
2	Reunión Técnico y 1er Drive Test						2 a 5 pm
3	Reunión Técnica 2do Drive Test						2 a 5 pm
4	Reunión Técnica 3er Drive Test						2 a 5 pm
5	Reporte Final						2 a 4 pm

Adicionalmente, se realizó el plan de recorrido para los drive test el cual será el mismo por cada repetición, como parámetros para la realización del recorrido es el horario establecido de las 2:00 PM – 5:00 PM; saliendo de las instalaciones de Yota hacia el mercado oriental (bordeándolo) hasta dirigirse a carretera a Masaya (Las Colinas) terminando en las Instalaciones de Yota en el retorno (Ver figura 3.2). El procesado de los resultados de cada repetición (Drive Test) estará a cargo del personal de Yota en conjunto con nuestro equipo de trabajo, los resultados serán entregados para ser reportados dentro del trabajo de exposición.



**Figura 3.2 Plan de Recorrido de los Drive Test Yota Nicaragua.**

### **3.4.3 Telefónica (Movistar).**

Para el caso de la empresa Telefónica (Movistar) se contactó al Ing. Edgar Rodríguez Centeno Jefe de Acceso de Movistar. Los aspectos relevantes de dicha reunión fueron los siguientes: Presentación del trabajo de investigación sobre las RNI en Nicaragua. Se les solicitó el apoyo para la realización de Drive Test en el clúster más cargado en horarios picos. Movistar en primera instancia accedió a brindarnos apoyo. Pero dicho apoyo no se logró concretar, por tal razón, no se realizó ningún reporte de mediciones (Drive Test) con Telefónica de Nicaragua, “MOVISTAR”.





## **CAPÍTULO IV.**

### **4 Simulación y Medición de RNI en Managua y Análisis de Resultados.**

Este capítulo presenta el análisis de los resultados de simulación del nivel de conformidad de un emplazamiento y arreglo de este en forma de red considerando las directrices emitidas por la UIT, específicamente, UIT-K.52 y la UIT-K.62, así como las mediciones realizadas en la ciudad de Managua en puntos donde según los operadores que hacen uso de tecnología celular son considerados de mayor tráfico, de manera que permita realizar una evaluación de las radiaciones no-ionizantes en la ciudad capital de Nicaragua remarcando que ésta es la zona más densa y con mayores índices económicos del país; para los drive tests realizados también se usaron de referencia las directrices de la UIT-K.61 y UIT-K.83. como parte de la buenas prácticas



#### 4.1 Simulaciones Basadas en Normativas de la UIT.

Para realizar las simulaciones correspondientes se toma en cuenta el algoritmo de la figura 4.6 basado en aspectos puntuales de la recomendación de la UIT-T K52. Primeramente en la figura 4.1 se presentan las presunciones necesarias para realizar la simulación; “Procedimiento de Evaluación de la Exposición a Campos Electromagnéticos Generados a partir de las Antenas de Redes Celulares”.

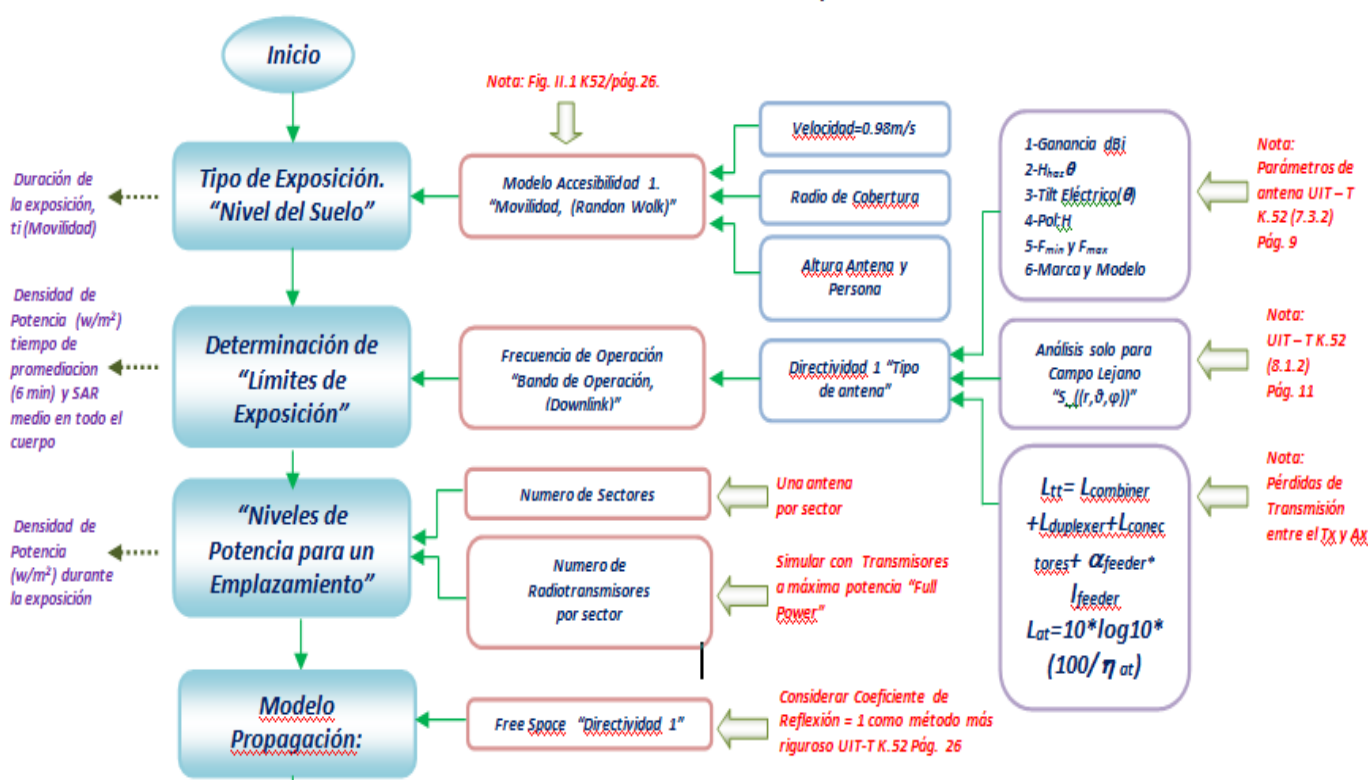


Figura 4.1 Presunciones para el Procedimiento de Evaluación de la Exposición a Campos Electromagnéticos.

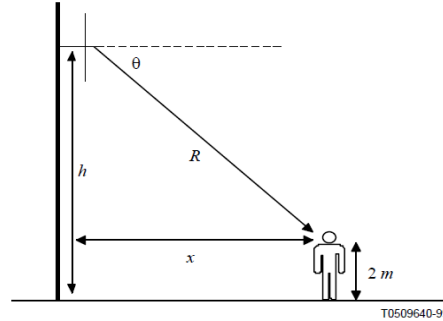
##### 4.1.1 Tipo de Exposición.

El tipo de exposición a considerar dentro de la simulación es a nivel del suelo [30] que está basado en el nivel 1 de accesibilidad según la UIT-T K.52 (Ver Fig. 4.2) lo que permite fijar una altura de  $h=30$  mts del elemento radiante con respecto a la superficie en la cual está alojada la torre, también definimos la altura de una persona en  $h'=2$  mts a una distancia  $x$  de la torre, según el modelo, además de la definición del radio de cobertura, que para este caso es de 500 mts considerando un ambiente urbano densamente poblado bajo la presunción que el área de cobertura es 100% plana, de forma que pueda calcularse la densidad de potencia en un determinado





punto dentro del radio de cobertura que se encuentre una persona donde  $h''$  es la diferencia de altura entre la torre y la persona. (Ver figura 4.2).



**Figura 4.2 Ejemplo de Configuración para Calcular la Exposición a Nivel del Suelo.**  
(Fuente: UIT-K.52)

Para simular la movilidad de una persona utilizamos el algoritmo de random walk (Camino aleatorio), este algoritmo en principio está basado en la generación de dos variables aleatorias para un camino aleatorio en dos dimensiones. Si  $x(t)$  define una trayectoria en la posición  $x(0)=X_0$ , es posible modelar el paseo aleatorio con la siguiente expresión:

$$X(t + \tau) = X(t) + \phi(\tau) \quad (4.1)$$

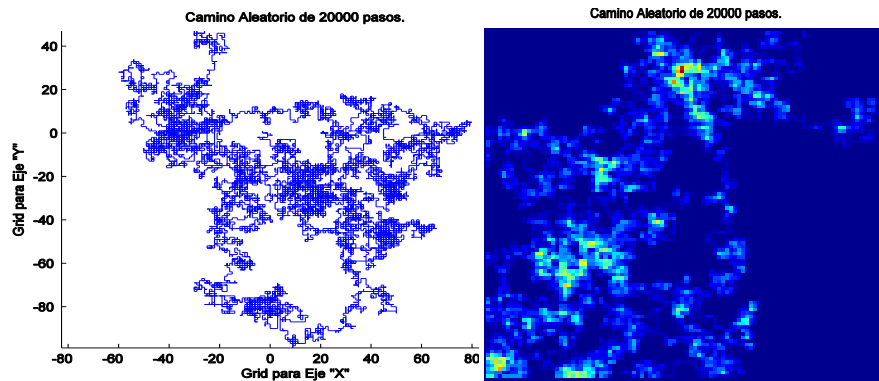
Se escogió la distribución gaussiana con una distribución cumulativa inversa  $\phi^{-1} = (z, \mu, \delta)$  de la medida del paso de un camino aleatorio ya que la persona se moverá de manera aleatoria dentro de un área determinada modelando su patrón de comportamiento de movilidad. Para realizar la evaluación de la duración de la exposición en función del tiempo promedio el cual es el tiempo apropiado en el que se promedia la exposición con el fin de determinar el cumplimiento de los límites, se consideró que la persona se moverá a una velocidad constante de 0.92 m/s (a pie) y se relacionará directamente con la magnitud vectorial de un paso (en metros) de forma que permita encontrar el tiempo que dura la exposición de esa magnitud vectorial del paso en función de la velocidad de la persona. Ese instante de tiempo será multiplicado por la magnitud de la densidad de potencia medida en el espacio que dure el paso. Es importante calcular la magnitud del paso y es posible a través de las siguientes ecuaciones:

$$d_m = \sqrt{(x_f - x_0)^2 + (y_f - y_0)^2} \{Para un paso\} \quad (4.2)$$

$$dm_i = \sqrt{(x_{(1,i+1)} - x_{(1,i)})^2 + (y_{(1,i+1)} - y_{(1,i)})^2} \{Para n pasos\} \quad (4.3)$$



El resultado de la caminata aleatoria permitirá determinar la duración de la exposición  $t_i$  en función de la movilidad. El resultado de la simulación se presenta en la figura 4.3, para un camino aleatorio de 20,000 pasos.



**Figura 4.3 Simulación de Camino Aleatorio de 20000 Pasos.**

#### **4.1.2 Determinación de Límites de Exposición.**

Para determinar los límites de exposición usamos como referencia los límites básicos de la ICNIRP [3][30] para exposición ocupacional y la figura de mérito es el SAR (W/Kg) media en todo el cuerpo, para el caso de la densidad de potencia usamos los límites de referencia de la ICNIRP[3][30] (valores eficaces sin perturbaciones), todo esto en dependencia de la frecuencia de operación. Para nuestro análisis consideraremos las bandas de operación de 850, 1900 y 2500 MHz, para tecnologías como GSM, WCDMA y WiMax 802.16e, actualmente operando en Nicaragua. Un aspecto importante que depende de igual forma de la frecuencia de operación es el tipo de antena a utilizar, el cual deberá considerarse sus parámetros tales como la ganancia que es parte de la ecuación que permite calcular la densidad de potencia, las pérdidas existentes entre el elemento radiante y el transmisor que le excita, además la evaluación deberá realizarse para una exposición uniforme es decir para campo lejano (Ver ecuación 4.6). Todo esto en base a la categoría de directividad 1 presentada por la UIT-T K52.

Para este caso no consideramos evaluar campo cercano ya que en principio para este tipo de campo, sus componentes de intensidad de campo eléctrico  $\vec{E}$  y la intensidad de campo magnético  $\vec{H}$  son dispersos y bajo esta condición no es posible obtener una resultante vectorial derivada del producto cruz de estos dos vectores  $\vec{P}$ ; para obtener una onda plana equivalente, ver ecuación 4.4. Por otro lado si consideramos que la región de campo lejano  $(L) > 3\lambda$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la frecuencia de operación y partiendo que la banda de frecuencia en análisis es 850 MHz la región de campo lejano iniciaría a 1.08m desde la fuente de emisión, lo que implica que el



campo cercano no representa una figura de mérito para efectos de análisis para la exposición humana a los campos electromagnéticos provenientes de los elementos radiantes de las redes celulares.

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} \quad (4.4)$$

Para el caso de la ecuación para definir el campo lejano consideramos estimar los niveles de intensidad de campo y de densidad de potencia de forma que para esta evaluación se trabaja con la siguiente expresión:

$$S(R, \theta, \varphi) = \frac{EIRP}{4\pi} \left[ f(\theta, \varphi) \frac{1}{R} + \rho f(\theta', \varphi') \frac{1}{R'} \right]^2 \quad (4.5)$$

Donde  $f(\theta, \varphi)$  es la ganancia numérica relativa de la antena en dependencia de la directividad 1, la cual se presenta en la siguiente ecuación:

$$f(\theta, \varphi) = \left[ \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2} \sin\theta\right)}{\cos\theta} \right]^2 \quad (4.6)$$

A continuación en la Tabla 4.1 se muestran las bandas de operación, las clase de bandas, los enlaces descendentes (DL, por sus siglas en inglés) (el análisis está en la emisión de las antenas de las BTS y no haremos simulación para el móvil (Uplink) y los tipos de antenas y modelos utilizados; la Tabla 4.2 presenta los parámetros de las antenas a utilizar en función del estándar y banda de frecuencia tomadas en cuenta para la simulación. Por tanto los límites de referencias de la ICNIRP estarán entre las de frecuencias (400-2000 MHz) y (2-300 GHz) con un tiempo de promediación para ambos segmentos del espectro de 6 minutos [30] para el cálculo de densidad de potencia de onda plana equivalente. Para el cálculo del SAR el segmento espectral está comprendido entre (10 MHz-10 GHz) por lo que el límite de SAR media en todo el cuerpo es de 80 mW para 6 minutos de tiempo de promediación.

**Tabla 4.1 Bandas de Frecuencias y Tipos de Antenas.**

<b>Banda.(MHz)</b>	<b>Clase.</b>	<b>DL.(MHz)</b>	<b>Antena.</b>	<b>Modelo.</b>
2500	-	2620-2650	Andrew.	W2XX-6516DS-VTM
1900	A	1930-1945	Kathrein	742223V02
1900	C	1975-1990	Kathrein	742223V02
1900	D	1945-1950	Kathrein	742223V02
850	A	869.040-879.990	Kathrein	80010306
850	B	880.020-889.980	Kathrein	80010306

**Tabla 4.2 Estándares y Parámetros de Antenas.**



<b>Estándar.</b>	<b>Marca/Modelo.</b>	<b>Polarización.</b>	<b>Ganancia<sub>(dBi)</sub></b>	<b>Tilt<sub>(θ)</sub></b>	<b>Haz<sub>(θ)</sub></b>	<b>BW. (MHz)</b>
WiMax 802.16e	(A) W2XX- 6516DS-VTM	H	18	10	65	2496-2690
GSM.	(K) 742223V02	H	17.4	4	62	1850-1990
WCDMA.	(K) 742223V02	H	17	8	62	1850-1990
GSM.	(K) 80010306	H	17.2	5	66	824-894
WCDMA.	(K) 80010306	H	17.1	9.5	66	824-894

Por tanto los límites de exposición considerados para nuestras simulaciones estarán en función de la densidad de potencia y el SAR media para todo el cuerpo.

#### 4.1.3 Niveles de Potencia para un Emplazamiento y Modelo e Propagación.

Para este caso vamos a retomar el tipo de exposición presentado en la sección 4.1.1 basado en el tipo de accesibilidad y directividad, (la cual es la uno), [30], de forma que:

$$h'' = h - h' \quad (4.7)$$

$$R^2 = h''^2 + x^2 \quad (4.8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h''}{x} \right) \quad (4.9)$$

Teniendo en cuenta las reflexiones en el suelo con un coeficiente de reflexión unitario y la ganancia numérica relativa  $F(\theta)$  de la antena a utilizar, la densidad de potencia  $W/m^2$  resulta la siguiente expresión:

$$S_{dBm} = \frac{F(\theta)}{\pi} * \frac{P_{EIRP}(\theta, \varphi)_{dBm}}{x^2 + h''^2} \quad (4.10)$$

Donde la potencia isotrópica radiada equivalente expresada en la ecuación (4.11), la potencia en las borneras de la antena como se muestra en la ecuación (4.12), las pérdidas de línea de transmisión  $L_{tt}$  expresadas en la ecuación (4.13) que contempla, combinadores, duplexores, conectores, factor de pérdidas del feeder  $\alpha_{feeder}(dB/m)$  y las pérdidas  $L_{at}$  por eficiencia del elemento radiante  $\eta_{at}$  expresada en la ecuación (4.14) que a continuación se presentan:

$$P_{EIRP}(\theta, \varphi)_{dBm} = P_t(dB) + G_t(\theta, \varphi)(dB) + 30 \quad (4.11)$$

$$P_t(dB) = P_{TX} - L_{tt} - L_{at} \quad (4.12)$$



$$L_{tt} = L_{Combiner} + L_{Duplexer} + L_{Conectores} + \alpha_{feeder} + l_{feeder} \quad (4.13)$$

$$L_{at} = 10 \log_{10} \left( \frac{100}{\eta_{at}} \right) \quad (4.14)$$

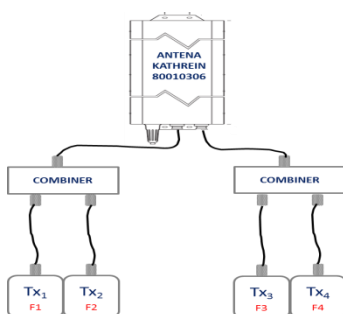
El modelo de propagación utilizado es el propuesto por la UIT-T K52, el cual es el modelo de propagación de espacio libre presentado por la ecuación 4.15.

$$L_{fs} = -17.6 + 20 \log_{10}(d(m)) + 20 \log_{10}(f(Hz)) \quad (4.15)$$

Para completar las consideraciones iniciales, es necesario determinar los tipos de transmisores a utilizar, las configuraciones de las baterías de radios por cada sector en función de la cantidad de espectro que podría ser asignada a un determinado operador y el estándar utilizado. El número de sectores utilizados por cada emplazamiento es de 3 sectores separados a 120° de azimut con una configuración de radiotransmisores FULL POWER de 3/4 (Ver figura 4.4) tanto para GSM, WCDMA y 2/3 para el caso de WiMax802.16e. A continuación en la Tabla 4.3 se presentan los tipos de radios utilizados para la simulación.

**Tabla 4.3 Tipos de Radiotransmisores.**

<b>Estándar.</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia.</b>
WiMax 802.16e	Samsung	FRH-2BLLU/2UBO	4W+4W
WCDMA	Ericsson	RUS01	20->40W
GSM	Ericsson	RUS02	20->40W,40->60W



**Figura 4.4 Configuración Full Power 3/4 de Radiotransmisores Por Sector.**

#### 4.1.4 Simulaciones a Implementar.

A partir de las presunciones consideradas en la figura 4.1 en la figura 4.5 se presenta el “Esquema de Clasificación Según la UIT-T K52, de las Instalaciones (Estaciones Bases o Node B en Dependencia del Estándar)”.

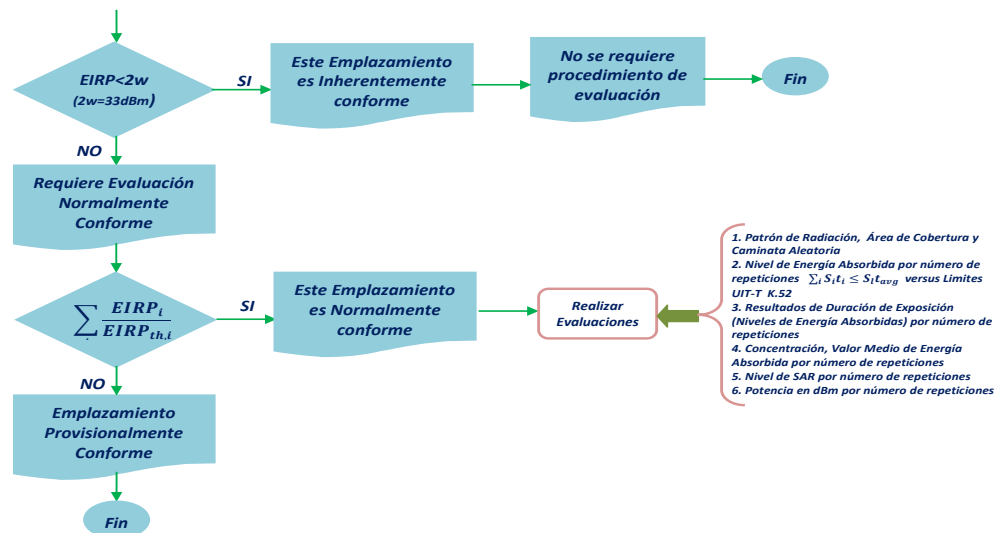


Figura 4.5 Esquema de Clasificación de la Instalación y Procedimiento para Determinar la Clase de Instalación.

Dicha clasificación podrá especificar las instalaciones como; Inherentemente Conforme, la cual son aquellas instalaciones donde su Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (EIRP, por sus siglas en inglés) es menor de 2W, no habiendo así ningún tipo de evaluación [30]. Por su parte las instalaciones podrían ser Provisionalmente Conforme, para este caso es cuando precisamente no se cumple la condición descrita en la ecuación 4.16. De ser así, (de sobrepasar los límites) las medidas necesarias serán tomadas por los actores correspondientes (e.g Ente Regulador Nacional).

$$\sum_i \frac{EIRP_i}{EIRP_{th,i}} \leq 1 \quad (4.16)$$

Si la instalación resultara como Normalmente Conforme debido a que cumple con la condición expresada en la ecuación 4.16; entonces se realizarán evaluaciones que generen como resultado el patrón de radiación de los tres sectores del emplazamiento separados a 120° acimutalmente, donde la medición en cualquier punto en el área de cobertura será la contribución de potencia de las antenas por emplazamiento. Adicionalmente se presenta el resultado de la energía absorbida por una persona que se desplaza de manera aleatoria dentro del área de cobertura por una cantidad de repeticiones del experimento y de igual forma se presenta el nivel de SAR media en todo el cuerpo y niveles de potencia en dBm. Finalmente se presenta un análisis comparativo de los niveles de energía absorbida por número de experimento vs los límites de referencia de la ICNIRP presentados en [30], si partimos de la densidad de potencia para zona poblacional, la banda de operación y el tiempo de promediación.



De esta forma será posible realizar una evaluación de un emplazamiento de una red celular en función de los niveles de emisión de RNI y por tanto el nivel de exposición de las personas a Campos Electromagnéticos provenientes de los elementos radiantes de las redes celulares.

Es importante mencionar que en principio esta simulación está concebida bajo el criterio de la movilidad y que además es totalmente aleatoria con antenas polarizadas horizontalmente. Para tal efecto asumiremos la duración de exposición. En la literatura encontramos que la mayoría de los documentos definen los límites de exposición en forma de magnitudes promediadas en un periodo de tiempo denominado tiempo promedio para el caso de exposición de corta duración inferior al tiempo promedio el límite aplicable de densidad de potencia se expresa en la siguiente ecuación:

$$\sum_i S_i t_i \leq S_l t_{avg} \quad (4.17)$$

Donde  $S_i$  es la densidad de potencia y  $t_i$  es el tiempo durante la exposición  $i$ ,  $S_l$  es el límite de referencia que para este caso, es la frecuencia de operación entre 200;  $\frac{f}{200}$  debido que la evaluación se hará para zona no ocupacional o zona poblacional y para el sistema celular las bandas de operación a evaluar están entre los 400-2000 MHz y precisamente el límite  $\frac{f}{200}$  es para este rango de frecuencia, según la UIT-K52. Por otro lado el tiempo promedio según la recomendación UIT-K.52 que a su vez se fundamenta en el documento de la ICNIRP es de 6 minutos para frecuencias que comprenden entre los 10KHz y los 10 GHz.

También es posible determinar la tasa de absorción específica (SAR, por sus siglas en inglés) dado en watts sobre kilogramos (w/kg) partiendo de la siguiente expresión:

$$SAR = \frac{\sigma * E^2}{\tilde{n}_m} \quad (4.18)$$

Donde “ $\sigma$ ” es la conductividad del tejido corporal (S/m),  $\tilde{n}_m$  es la densidad del tejido corporal en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) y su valor medio más utilizado es  $1125 \text{ kg}/\text{m}^3$ , donde “ $\sigma$ ” dependen de la frecuencia de operación y sus valores más utilizados son 0.693 y 0.999 S/m; “ $E$ ” es el valor de la intensidad del campo eléctrico en el tejido corporal (V/m). La intensidad de campo eléctrico es posible calcularlo considerando que el modelo es espacio libre a través de:

$$Seq = \frac{E^2}{2 * Z_0} \quad (4.19)$$

Donde “Seq” es la densidad de potencia en ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) y  $Z_0$  es la impedancia intrínseca del medio equivalente a  $377\Omega$ . Es importante mencionar que las frecuencias a evaluar





son las correspondientes al “DOWNLIN” o bajada del sistema que es la transmisión desde la estación base o el node B hasta el móvil o el user equipment (UE).

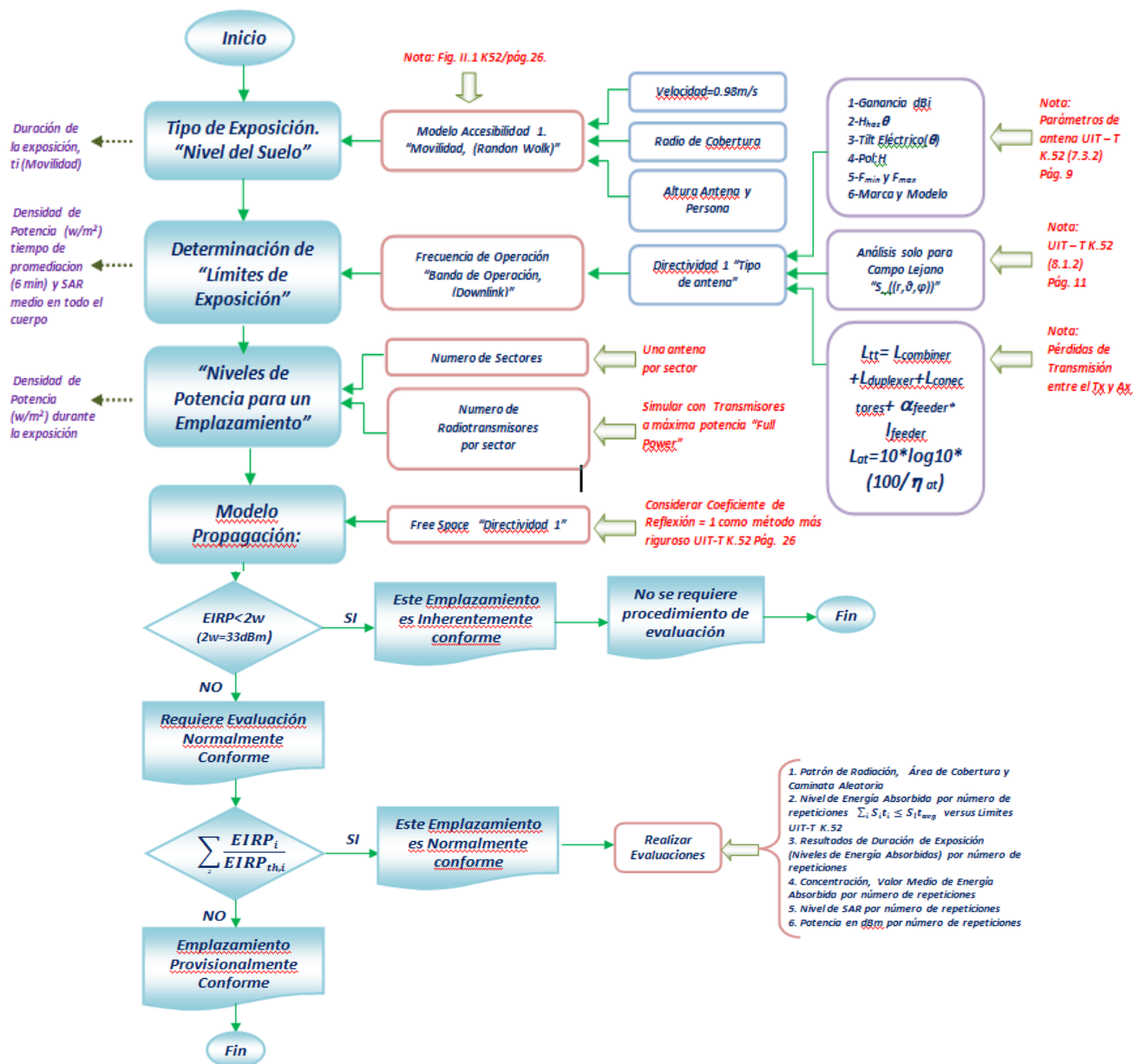


Figura 4.6 Procedimiento de Evaluación de la Exposición a Campos Electromagnéticos.

La figura 4.6 representa el algoritmo que define el procedimiento para realizar la evaluación de la exposición a campos electromagnéticos basado en las normativas de UIT K52.





## 4.2 Resultados de Simulación para un Emplazamiento.

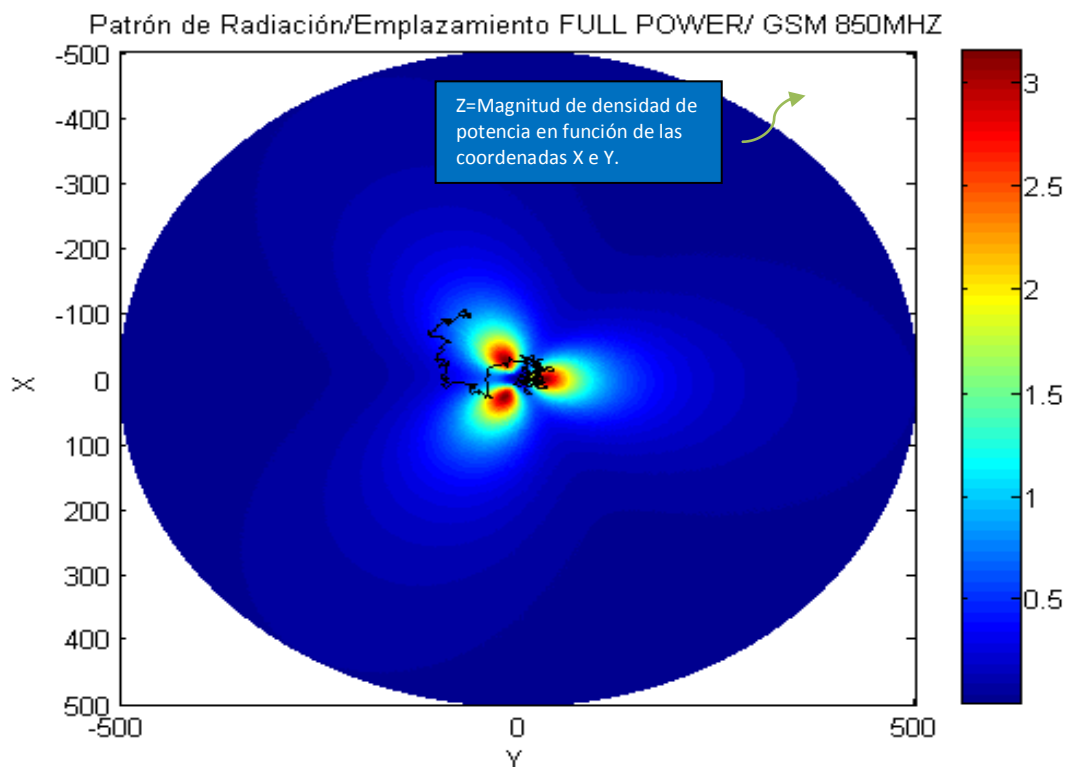
A continuación realizamos una simulación bajo un modelo teórico idealizado con las siguientes presunciones:

- Exposición a nivel del suelo. (Tipo de Exposición, presentado por UIT-T K52.)
- Movilidad. (Ramdon Wolk)
- Exposición solo para campo lejano.
- Tipo de Antena.
  - Marca (Kathrein), modelo (80010306), ganancia (17.2dBi),  $F_{\min}$  (790MHz) y  $F_{\max}$  (960MHz).
  - Polarización, Tilt Eléctrico ( $5^0$ ), Ancho de Haz efectivo ( $66^0$ )
- Banda de Operación (850MHz)/Downlink (880.020-889.980MHz)/Definición de límites de exposición según UIT-T K52 ( $f=400-2000\text{MHz}$ ;  $f/200$ ).
- Velocidad de la caminata de la persona (0.92m/s).
- " $\sigma$ "=0.693-0.999 S/m;  $\tilde{n}_m=1125 \text{ kg/m}^3$
- Tiempo de promediación (6 minutos/ UIT-T K52).
- Modelo de Propagación; espacio libre.
- Radio de Cobertura (500 mts).
- Altura de las antenas (30 mts).
- Altura promedio de una persona (2 mts).
- Número de repeticiones del experimento (75 veces).
- Numero de sectores (3).
- Análisis de potencia para emplazamiento GSM (Full Power; 12 radios transmisores por emplazamiento, donde cada radio posee una potencia máxima de 50W) para esta simulación se considerara una potencia máxima para cada radio de 100W (caso extremo hipotético, se considera una pérdida de feeder de 6dB/100m, perdidas por combiner de 1dB y perdidas por jumper de 0.5dB).

El resultado será único para este caso particular, es posible realizar una evaluación para cobertura de 500 mts en función de un solo emplazamiento que consta de 3 antenas con 12 radio transmisores, donde cada radio está a máxima potencia de 50 w, cada antena opera en la banda de 850 MHz con un tilt eléctrico de  $5^0$ , una ganancia de 17.2 dBi; dichas antenas estarán a una altura de 30 mts y la altura de la persona será un promedio de 2 mts. Las frecuencias a evaluar serán las del downlink correspondiente a la banda de 850 MHz, el número de paso será de 361 y el experimento se repetirá 75 veces, considerando que la persona parte del punto  $p(0,0)$  es decir debajo de la torre del emplazamiento. Los resultados de la simulación se muestran en la figura 4.7. De esta manera simulamos una persona caminando de forma aleatoria dentro del área de cobertura de una estación base o node B; recordemos que esto se repitió 75 veces. Así mismo cada evaluación nos brinda un valor discreto que está en función de  $S_i \llbracket *t \rrbracket_i$  que se compara con el umbral que está



determinado por la frecuencia/200 que es multiplicada por el tiempo promedio, debido a que se está evaluando para la zona de conformidad o público en general. Por la repetitividad del evento haremos uso de la ecuación 4.17. Dicho resultado obtenido es energía absorbida en (Joule/m<sup>2</sup>) por la persona que realizó un recorrido aleatorio de 361 pasos obteniendo 361 mediciones instantánea de energía absorbida por su cuerpo dentro del área de cobertura del emplazamiento en análisis por cada realización, donde la energía absorbida es la contribución en función del espacio y tiempo de las tres antenas que son parte del emplazamiento, con una media por realización de 0.1218 Joule/m<sup>2</sup> y una media por las 75 repeticiones del experimento de 0.154125 Joule/m<sup>2</sup>(Ver figura 4.8).

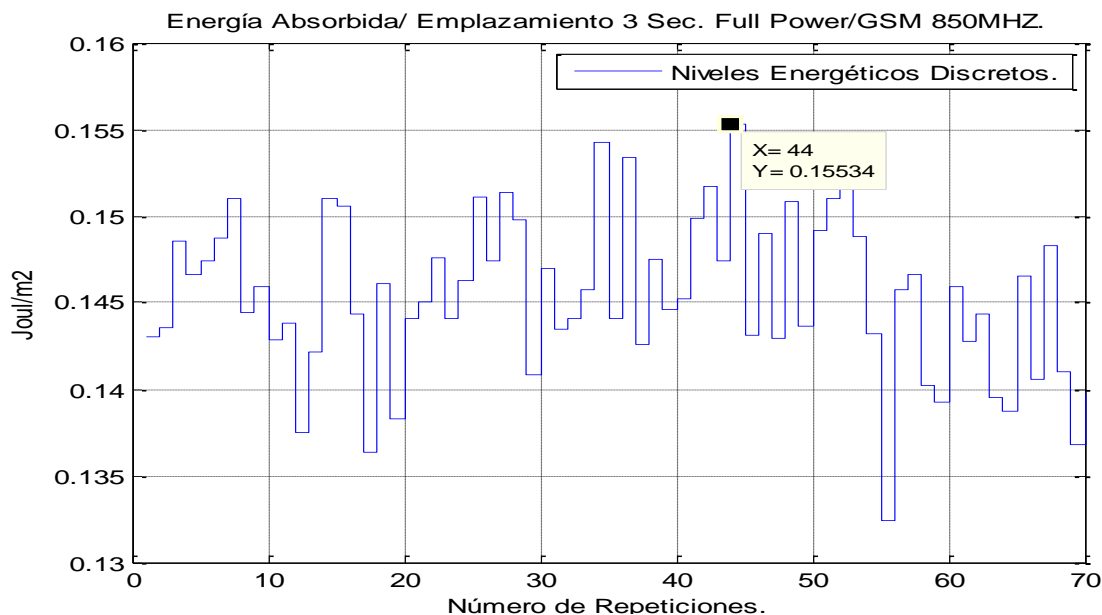


**Figura 4.7 Simulación Persona Caminando Aleatoriamente en una Cobertura de 500 mts.**

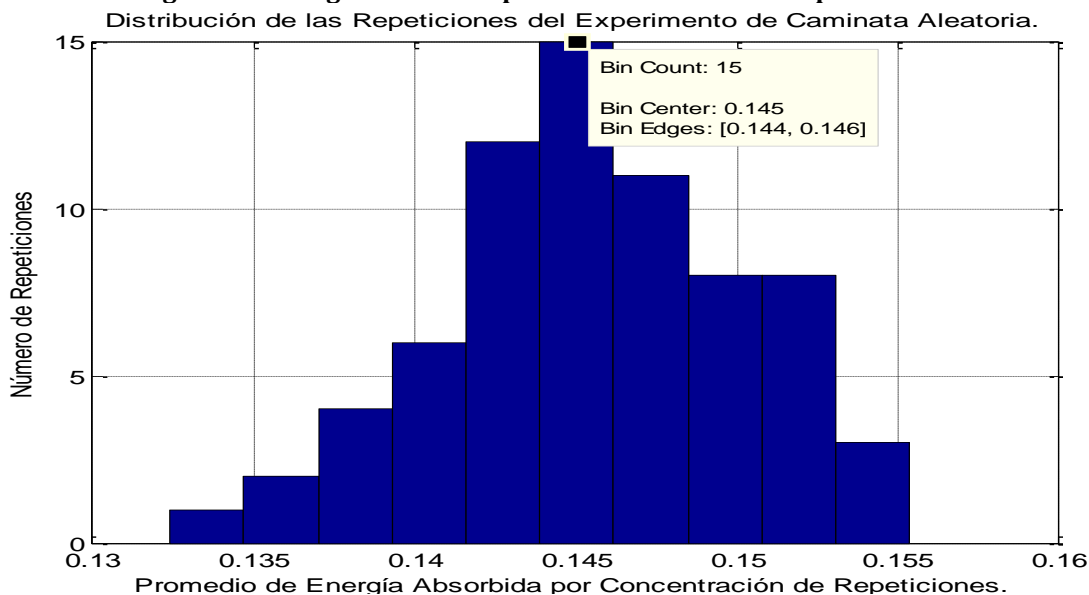
Si contraponemos estos datos obtenidos mediante los umbrales que dependen de la frecuencia de operación y el tiempo promedio que según la UIT K52 es para tiempos cortos de exposición de 6 minutos, es posible apreciar que la energía absorbida promedio (0.154125 Joule/m<sup>2</sup>) de las 75 caminatas aleatorias bajo el modelo ideal (escenario descrito con anterioridad) equivale al 0.2245% de 55.29 Joule/m<sup>2</sup> equivalente al límite del downlink para la banda 850MHz, (ver detalles en las figuras 4.8 - 4.10); es decir que para que este emplazamiento venciese dichos límites de exposición necesitaría incrementar su densidad de potencia en un 99.75% y eso desde



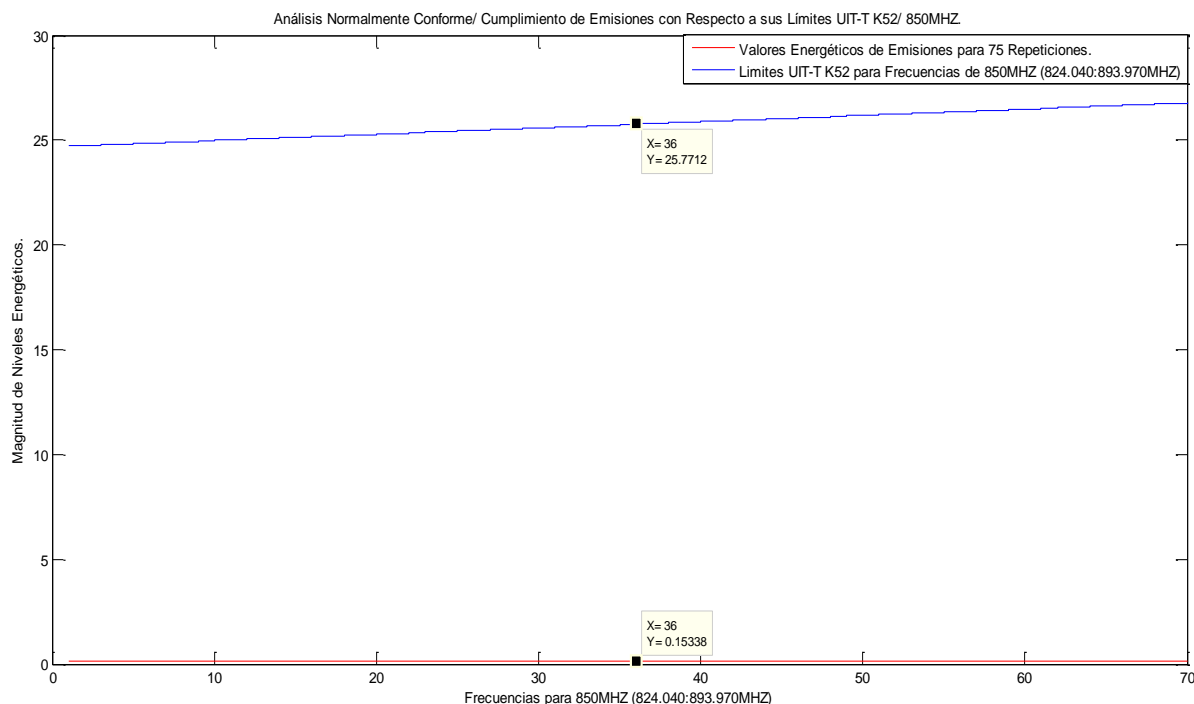
el punto de vista práctico no es posible ya que dicho emplazamiento caería en la inoperatividad por no cumplir con las requerimientos para el reuso de frecuencia para el caso de GSM, GPRS y EDGE así como grandes niveles de interferencias para 3G (UMTS y HSPA), es importante volver a mencionar que esta evaluación es para la zona de conformidad o zona para público en general (Ver los M-File realizados en MATLAB 7.0 R12 en ANEXO E).



**Figura 4.8 Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones.**

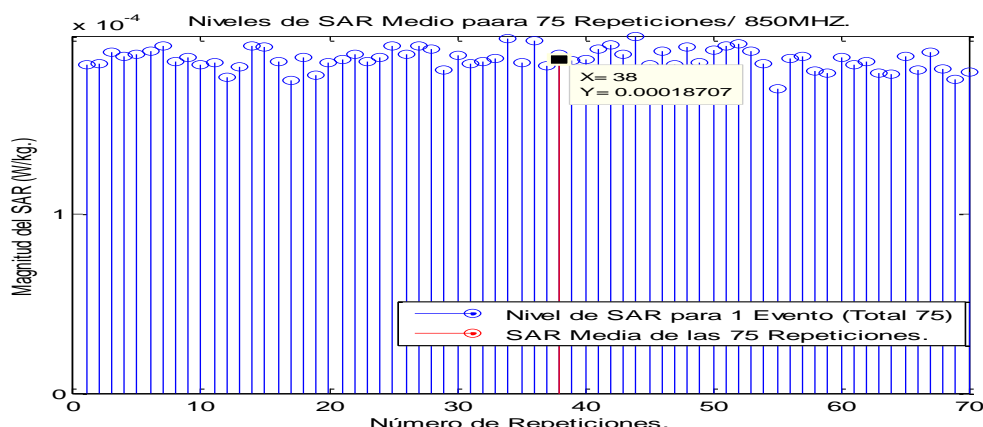


**Figura 4.9 Distribución de los Datos de Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones.**

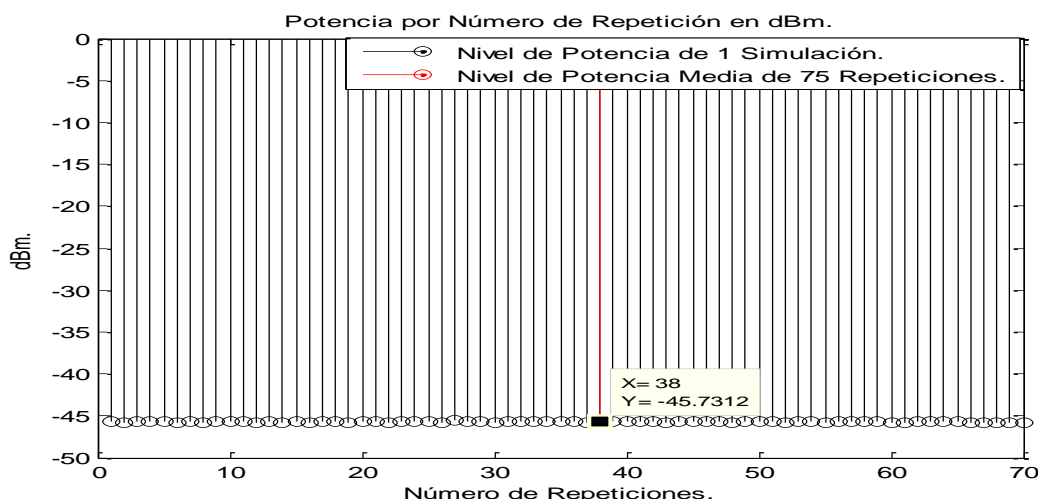


**Figura 4.10 Comparación Entre los Límites de la UIT K52 y la Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones.**

Para el caso de la evaluación de conformidad de la tasa de absorción específica (SAR) dado en W/kg. El resultado obtenido de evaluación del SAR para las 75 repeticiones realizadas es de 0.22436mW/kg lo que claramente se demuestra que para las condiciones planteadas en el inicio de esta simulación el SAR medio obtenido de un experimento con una repetitividad de 75 veces no sobrepasa el límite del SAR promedio en todo el cuerpo en el rango de frecuencia de 400-2000MHz. (Ver figura 4.11). Si este experimento lo repetimos para las de 0.08w equivalente a los límites de seguridad de SAR para la zona poblacional otras antenas que poseen sus propias características que operan en otras bandas de frecuencia, tendremos otros resultados ya que pueden cambiar algunos parámetros en las antenas como frecuencia de operación, ganancia, tilt eléctrico y ancho de haz efectivo. (Ver parámetros detallados en Tabla 4.2).



**Figura 4.11** Cálculo del SAR Media para 75 Repeticiones para Banda 850 MHz y una Antena 17.4 dBi, 5° de Tilt y 66° de Ancho de Haz Efectivo.



**Figura 4.12** Cálculo de la Potencia Media para 75 Repeticiones para para Banda 850 MHz y una Antena 17.4 dBi, 5° de Tilt y 66° de Ancho de Haz Efectivo.

Los resultados de simulaciones realizadas para las bandas de 2500, 1900 y 850 MHz para un emplazamiento en función de una serie de tipos de antenas que operan en dichos espectros; son presentadas en la Tabla 4.4, donde se puede apreciar en función del tipo de antena por su ganancia, tilt eléctrico, ancho de haz efectivo, frecuencia de operación y estándar; la energía absorbida por una persona que realizó recorridos de forma aleatoria dentro del área de cobertura de un emplazamiento bastante próximo a éste. Este experimento se repitió 75 veces, donde el resultado de esta energía absorbida es presentado en dicha tabla y es la media de estas 75 repeticiones, de igual manera para el SAR, la potencia en dBm y en nW.

**Tabla 4.4** Resultados de Simulaciones en Función del Estándar, Espectro Asignado, tipo de antena y Configuración de Radiotransmisores por Sector.



## Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.

Banda. (MHZ)	Marca	Polarización	Ganancia (dBi)	Tilt. (°)	Ancho Haz E. (°)	Umbral Energ. A $\frac{J}{m^2}$	Energía. Absorb(75F) $\frac{J}{m^2}$	Umbral SAR $\frac{W}{Kg}$	Umbral SAR(75R) $\frac{mW}{Kg}$	Potencia dBm	Potencia nW
2500 (WiMax) 3/2 DL:(2620-2650MHZ)	Andrew. W2XX-6516DS-VTM (2496-2690MHZ)	H	18	10	65	60	5.7329*10 <sup>-3</sup>	0.08	10.633*10 <sup>-3</sup>	-60.0272	0.9937
1900 (GSM) 3/4 DL:(1975-1990 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850-1990MHZ)	H	17.4	4	62	58.785	0.1901	0.08	0.28144	-46.3479	23.185
1900 (GSM) 3/4 DL:(1945-1950 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850-1990MHZ)	H	17.4	4	62	58.785	0.1856	0.08	0.2512	-46.6375	21.689
1900 (WCDMA) 3/4 DL:(1930-1945 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850-1990MHZ)	H	17	8	62	58.785	0.1194	0.08	0.22144	-46.9436	20.21
1900 (WCDMA) 3/2 DL:(1945-1950 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850-1990MHZ)	H	17	8	62	58.785	0.09036	0.08	0.16759	-47.7177	16.913
850 (GSM) 3/4 DL:(880.020-889.980MHZ)	Kathrein. 80010306 (824-894MHZ)	H	17.2	5	66	26.595	0.21024	0.08	0.3725	-44.6565	34.245
850 (WCDMA) 3/2 DL:(869.040-879.990MHZ)	Kathrein. 80010306 (824-894MHZ)	H	17.1	9.5	66	26.595	0.079293	0.08	0.14707	-48.7701	13.274
850 (WCDMA) 3/4 DL:(880.020-889.980MHZ)	Kathrein. 80010306 (824-894MHZ)	H	17.1	9.5	66	26.595	0.15791	0.08	0.29288	-45.6534	27.21

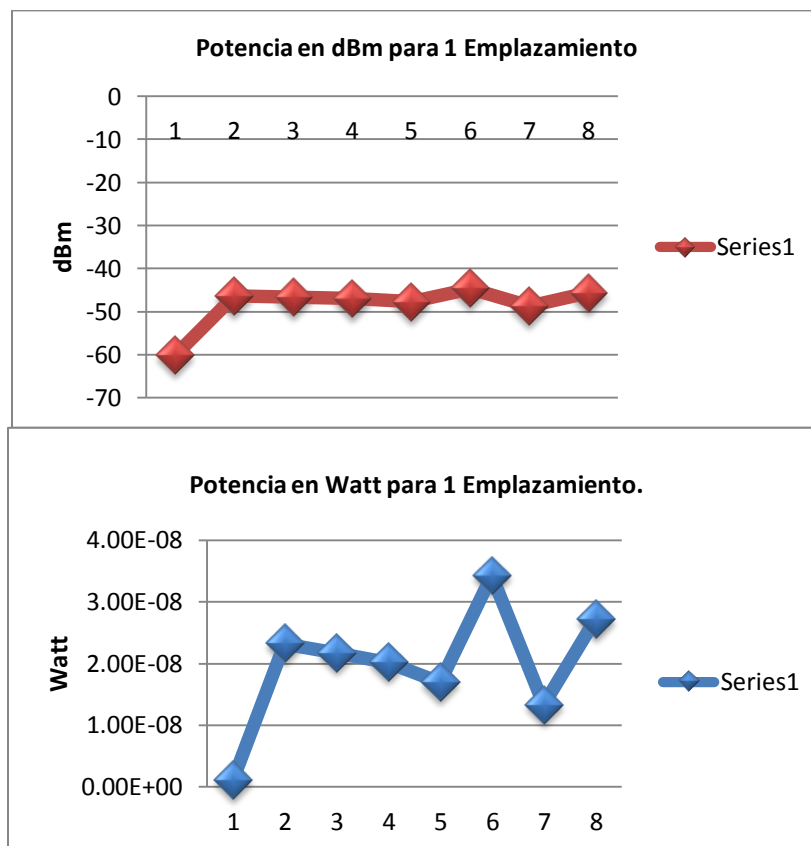
Es importante mencionar que en el experimento la persona parte desde la base de la torre del emplazamiento considerando el peor de los casos y que todas las antenas están radiando a su máxima potencia. Una vez que obtenemos el valor de energía absorbida, SAR, potencia en dBm y en nW por banda de operación y su conjunto de antenas se llegó a los siguientes resultados:

- En la figura 4.13 se presenta el promedio de la potencia (tanto en dBm como en nW), para el caso que todas las antenas en determinados espectros, estén puestas en el mismo emplazamiento radiando simultáneamente (recuérdese que este método solo es para el caso experimental que permita analizar de forma modelada si existe alguna manera de poder vencer los límites que propone la UIT-K52, y que en muchos de nuestros casos de análisis la red es



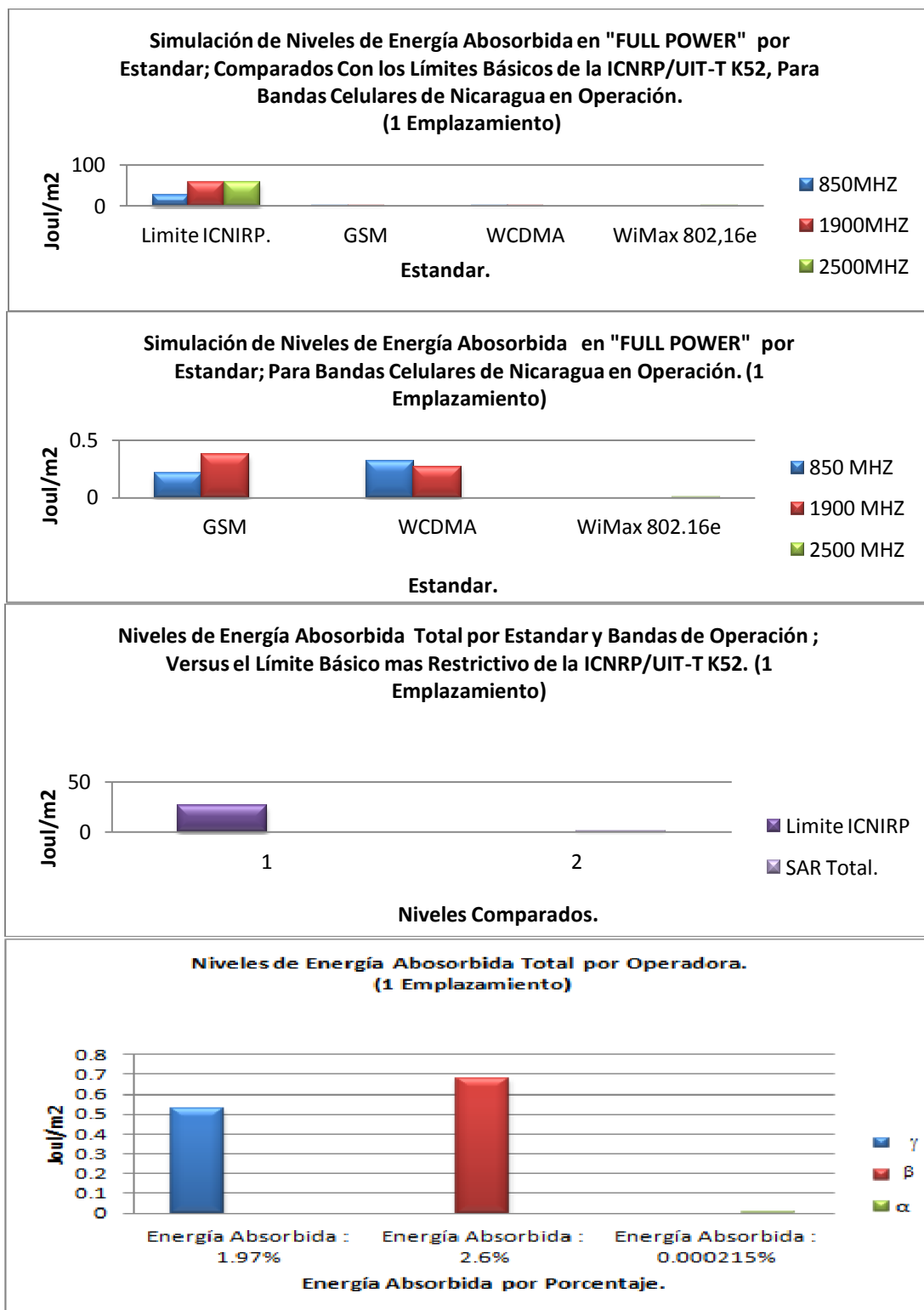
completamente inoperable), las potencias para los diferentes espectros en análisis oscilan entre los -46 y 48 dBm. Si todas las antenas de todas las bandas de operación en análisis (*vistas en las tablas anteriores*) estuvieran radiando en el mismo emplazamiento de forma simultánea en un área totalmente plana con una potencia de transmisión de 50W para GSM, 40W para WCDMA y 4W para WiMax 802.16e, la potencia promedio sería de -48.34 dBm que equivaldría a 14.65 nW.

- En la figura 4.14 se presenta los resultados simulados por espectro asignado para un emplazamiento de la energía absorbida. Así mismo la figura 4.15 presenta los resultados simulados del SAR media en todo el cuerpo por la persona que realizó los recorridos aleatorios. Dicha energía absorbida promedio por todas las bandas examinadas es de 0.13 J/m<sup>2</sup> y un SAR de 0.22 mW/Kg.
- La pregunta es, cuál es la contribución de cada antena en función de los límites propuestos por la UIT-K52?
- Como dichos límites dependen de la banda de operación, inicialmente solo sumaremos las contribuciones de las antenas que están radiando en dicho espectro, ya que cada uno tiene su propio límite; (para los espectros que están entre los 400-2000MHz el límite de energía es [frecuencia de operación /200] multiplicado por el tiempo promedio que es de 6 minutos según la UIT-K52); dichos resultados se pueden apreciar en la figura 4.14 donde sumando todas las energías absorbidas por una persona en función del espacio y el tiempo es posible compararlas con el límite en función de la frecuencia de operación.

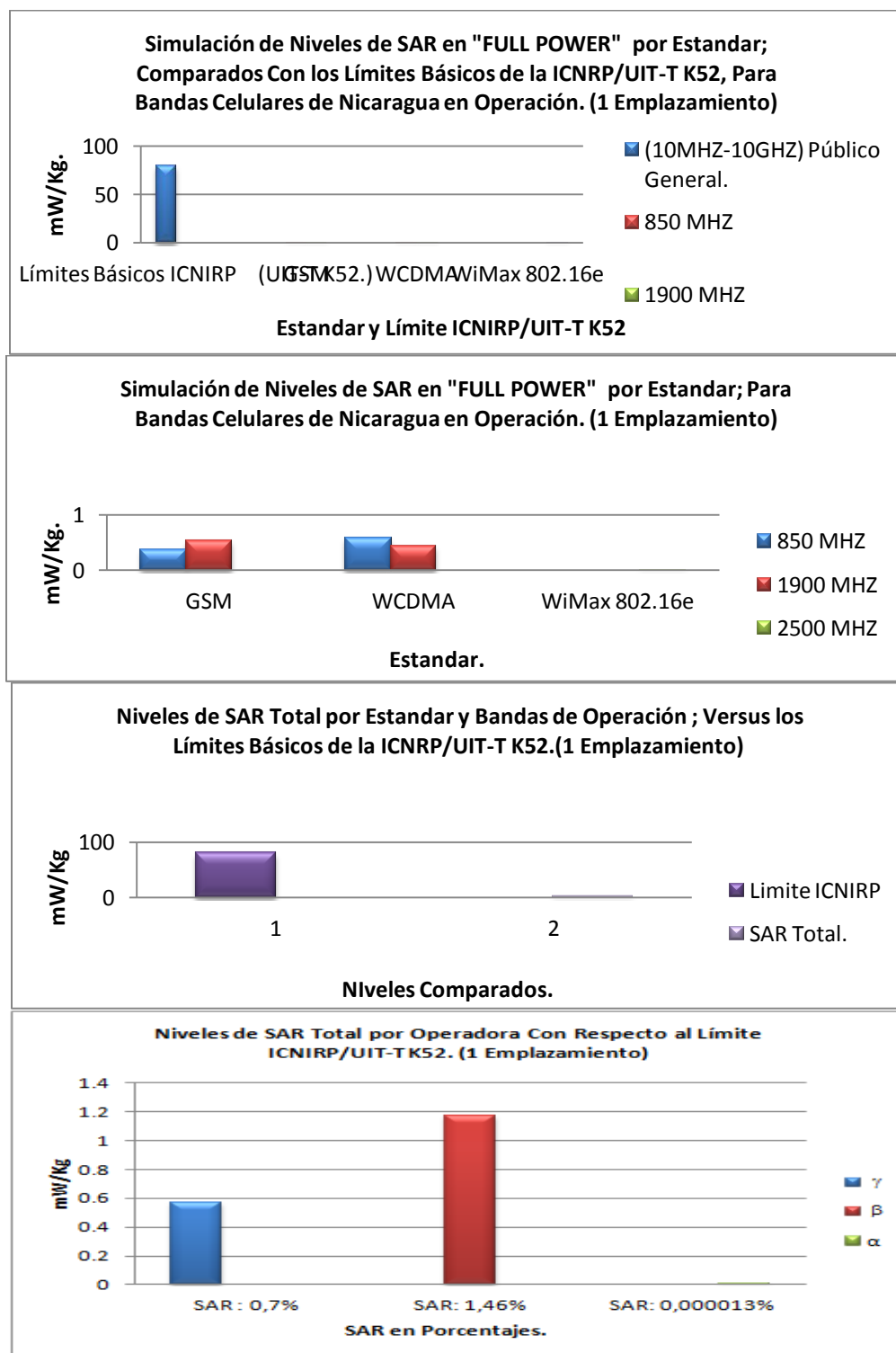


**Figura 4.13 Valor Promedio de la Potencia en dBm y en nW por Espectro Asignado Para 1 Emplazamiento.**





**Figura 4.14 Contribución de Energía Absorbida Producto de las Antenas  
Por Banda de Operación Comparada con los Límites UIT-K52.**



**Figura 4.15 Contribución del SAR Producto de las Antenas por Banda de Operación Comparada con los Límites UIT-K52.**



**Nota:** El valor promedio de potencia de recepción en telefonía celular en un escenario real y en las mejores condiciones, oscila entre -55 y -65 dBm equivalente a 0.1nW y 1nW respectivamente. Para responder a la pregunta: cuál es la contribución de cada antena en función de los límites propuestos por la UIT-K52?, consideraremos la **Exposición Simultánea a Múltiples Fuentes**. Para la exposición simultánea a diferentes fuentes y diferentes frecuencias, el cumplimiento de los límites de exposición se evalúa utilizando la siguiente expresión:

$$\sum_{i=100KHz}^{1MHz} \left[ \frac{E_i}{C} \right]^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 \leq 1 \quad (4.20)$$

Ahora como el rango de operación espectral en análisis está entre los 400-2000MHz y de los 2-4GHz la expresión anterior quedará definida de la siguiente manera:

$$\sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 \leq 1 \quad (4.21)$$

Donde  $E_i$  es la intensidad de campo eléctrico a la frecuencia  $i$ . Los Dowlings según las bandas de frecuencias consideradas (ver Tabla 4.1).

De forma que planteamos la expresión correspondiente de exposición simultánea de múltiples fuentes para los canales de las bandas correspondientes.

$$\begin{aligned} & \sum_{i=758MHz}^{803MHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 + \sum_{i=880MHz}^{894MHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 + \sum_{i=935MHz}^{960MHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 + \\ & + \sum_{i=1805MHz}^{1880MHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 + \sum_{i=1930MHz}^{1990MHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 + \sum_{i=2125MHz}^{2165MHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 \\ & + \sum_{i=3420MHz}^{3480MHz} \left[ \frac{E_i}{El_i} \right]^2 \leq 1 \end{aligned} \quad (4.22)$$

Si realizamos una simulación por cada canal de las bandas de operación respectivas y las sumamos podemos realizar la evaluación de conformidad para el cumplimiento de los límites de exposición a fuentes simultáneas. El número de simulaciones estará en dependencia del número de canal por banda. Ejemplo para la banda de 850 MHz, clase B el Dowlink propuesto es de 880.020-889.980 MHz lo que implica una cantidad de 49.8 canales analógicos de 200KHz cada uno, de modo que tenemos que realizar 50 simulaciones; 1 por cada canal considerando que los valores poseen un comportamiento medio por la naturaleza gaussiana de la variable aleatoria de la



movilidad. Si realizamos lo mismo para las diferentes bandas obtenemos: (Ver M-FILE en MATLAB en ANEXO E.)

$$0.00960 + 0.00835 + 0.00365 \leq 1$$

$$0.0216 \leq 1$$

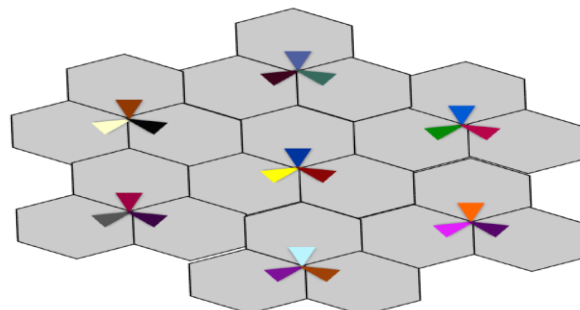
De esta manera comprobamos mediante la simulación el cumplimiento de los límites de Exposición Simultánea a Múltiples Fuentes para un emplazamiento. Las Radiaciones No-Ionizantes de las bandas celulares en estudio es del 2.16%.

#### **4.2.1 Resultados de Simulación para varios Emplazamientos.**

Para este caso basamos la simulación en la recomendación UIT-K.62 denominada "Evaluación de la Conformidad de las Emisiones Radiadas a Nivel de Sistema Mediante Modelos Matemáticos." El método aplicable para evaluar las emisiones radiadas de un sistema consiste en la ejecución del proceso que se resume en la siguiente forma:

1. Definición de un área geográfica que para nuestro caso es un plano con una dimensión determinada.
2. Composición del Sistema.
3. Fundamentalmente, se necesitan cuatro datos para llevar a cabo las pruebas de cada emisión radiada:
  - La frecuencia;
  - La polaridad (horizontal o vertical);
  - El nivel de EIRP;
  - La distancia de medición.

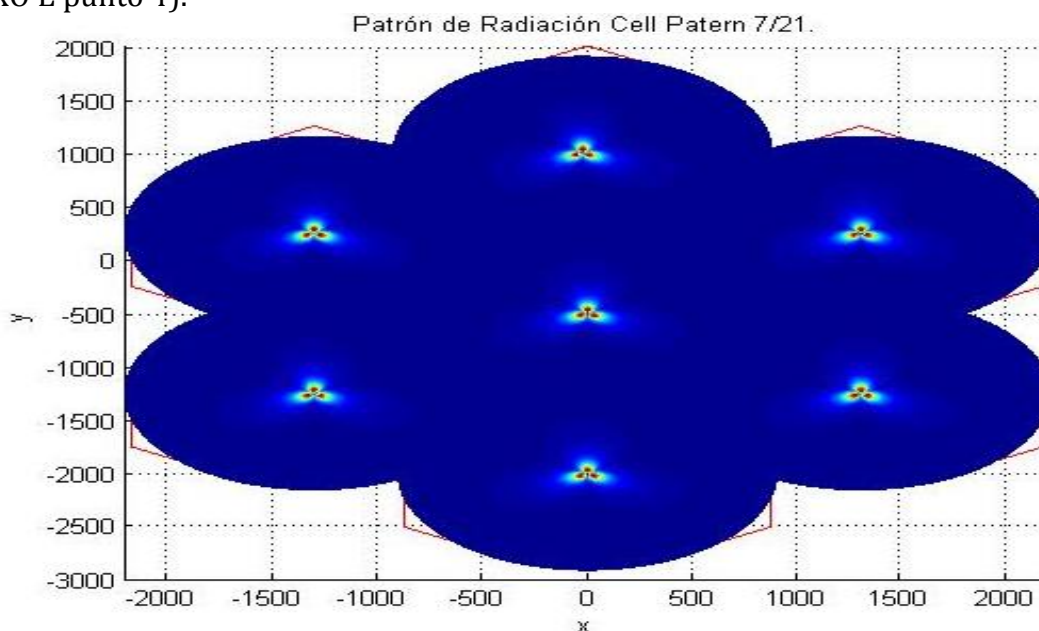
La contribución de potencia de cada celda del arreglo de 7 emplazamientos, obedeciendo a un patrón de reuso 7/21 como modelo (ver figura 4.16) es acumulativo para una sola simulación es decir que suma las contribuciones de potencia y energía radiada de cada celda en un 100 % por corrida, esto es un caso hipotético basado sólo en el principio de la simulación de forma que permita llevar una red de telefonía celular al máximo de los niveles de potencia radiada con el objetivo de hacer comparaciones con sus límites correspondientes.



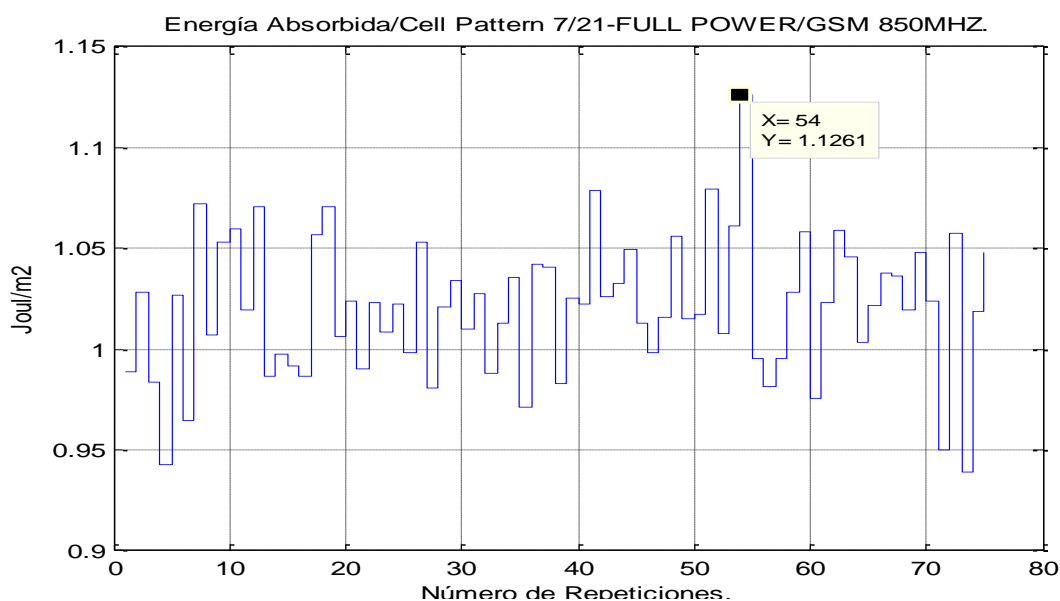
**Figura 4.16 Patrón de Reuso 7/21.**



En la fig. 4.17 Se presenta un área con 7 emplazamientos todos radiando a máxima potencia y de manera simultánea, donde por cada iteración existen 361 recorridos de caminatas aleatorias calculando la energía absorbida por una persona además de la potencia y el nivel del SAR todos estos valores son acumulativos en un 100% para luego ser comparados con sus límites correspondientes (Ver M-FILE en MATLAB en ANEXO E punto 4).



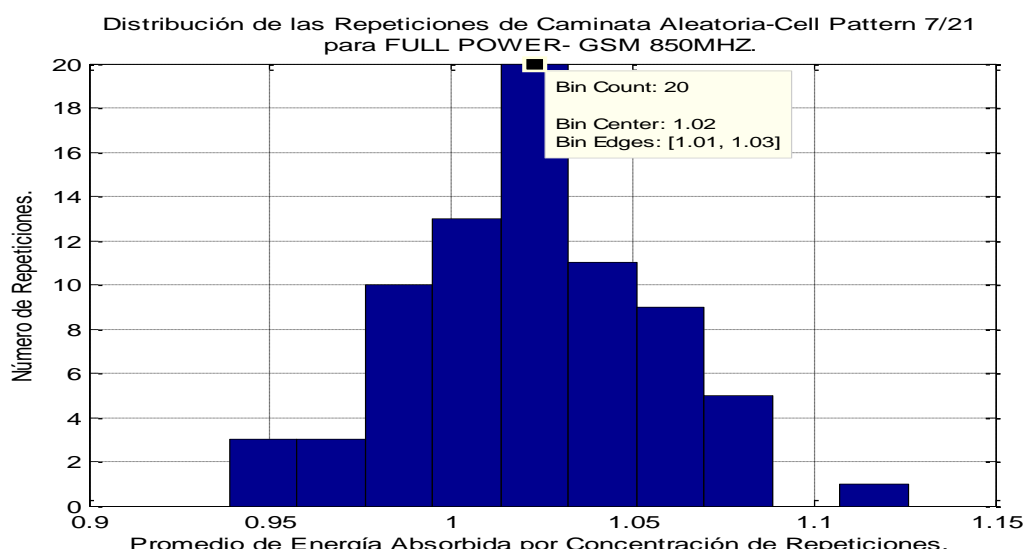
**Figura 4.17 Área Cubierta por 7 Emplazamientos, Banda 850 MHz  
Ancho Haz Efectivo =66° G=17.2dBi y un Tilt=5°.**



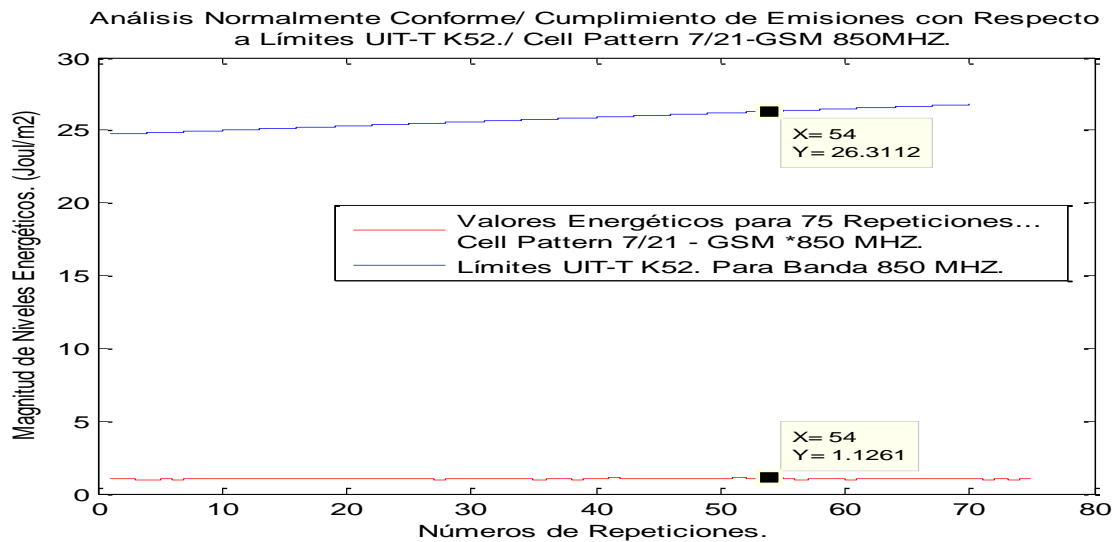
**Figura 4.18 Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones/7 Emplaza.**



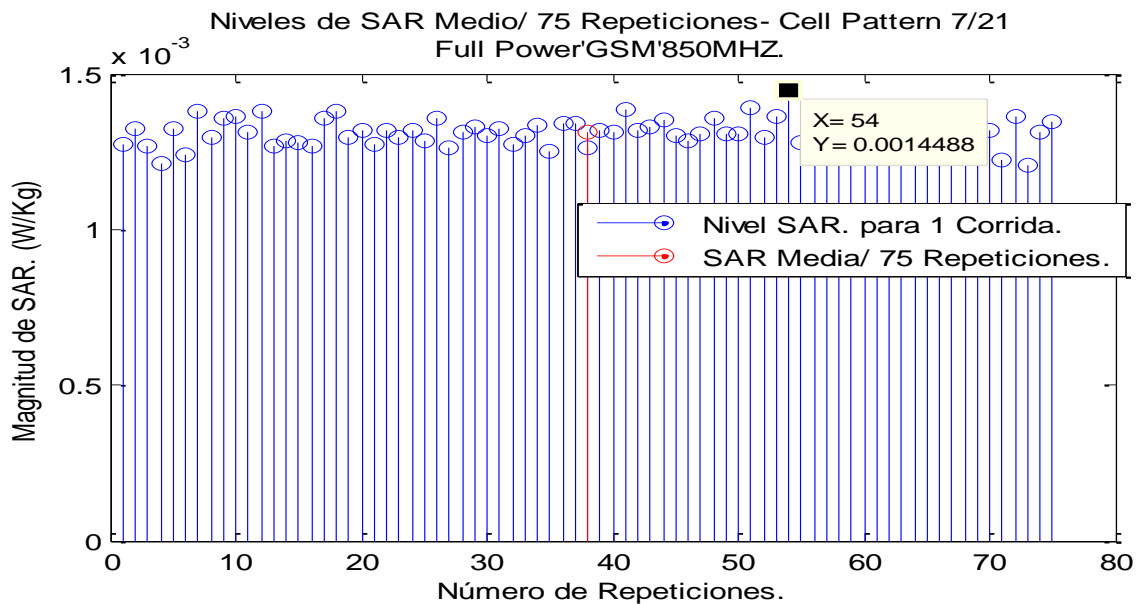
Como anteriormente se mencionó las contribuciones de los 7 emplazamientos son acumulativos lo que permite apreciar que el nivel de energía absorbida incrementó de  $0.15 \text{ J/m}^2$  para un emplazamiento de 3 sectores a  $1.1261 \text{ J/m}^2$  para 7 emplazamientos de 3 sectores (Ver figura 4.17 y 4.18). Sin embargo este  $1.1261 \text{ J/m}^2$  representa el 2.4% correspondiente al valor del límite correspondiente. El SAR para este caso presenta una media de  $1.45 \text{ mW/Kg}$  lo que es tan solo un 1.8% el valor del límite correspondiente equivalente a  $0.08 \text{ W}$  en función de la frecuencia que para este caso es la banda de  $850 \text{ MHz}$ . Si realizamos un análisis menos hipotético por principio de radio propagación; las ondas electromagnéticas en dependencia de la frecuencia (por su longitud de onda), la distancia y la potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP por sus siglas en inglés.), experimentan cambios en su magnitud a la hora de propagarse. De forma que los niveles de potencia de una señal de telefonía celular se atenúan cada vez que el móvil se aleja de la estación base y esta atenuación depende en gran manera del tipo de frecuencia de operación. Esto quiere decir que las contribuciones en una simulación más ajustada a la realidad por cada celda de los 7 emplazamientos del área de cobertura del patrón de reuso 7/21, no contribuyen en un 100%, por que básicamente dependerá de la distancia y el ángulo (utilizando coordenadas polares para analizar posición ) espacialmente hablando a la que esté ubicada una persona en un instante de tiempo con respecto a cada antena sectorial de la red. Lo que implica que los niveles de absorción de energía serían menores que los obtenidos bajo la premisa planteada para la simulación de 7 emplazamientos (se suman todas las contribuciones de los emplazamientos en un 100%), ya que la contribución energética de cada celda dependerá de la distancia y posición en que se encuentre una persona. El experimento se realiza de igual forma para el resto de antenas para la banda de  $850 \text{ MHz}$  así como para el resto de bandas de operación en análisis. (Ver resultados en la Tablas 4.5).



**Figura 4.19 Distribución de los Datos de Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones/7 Emplaza.**

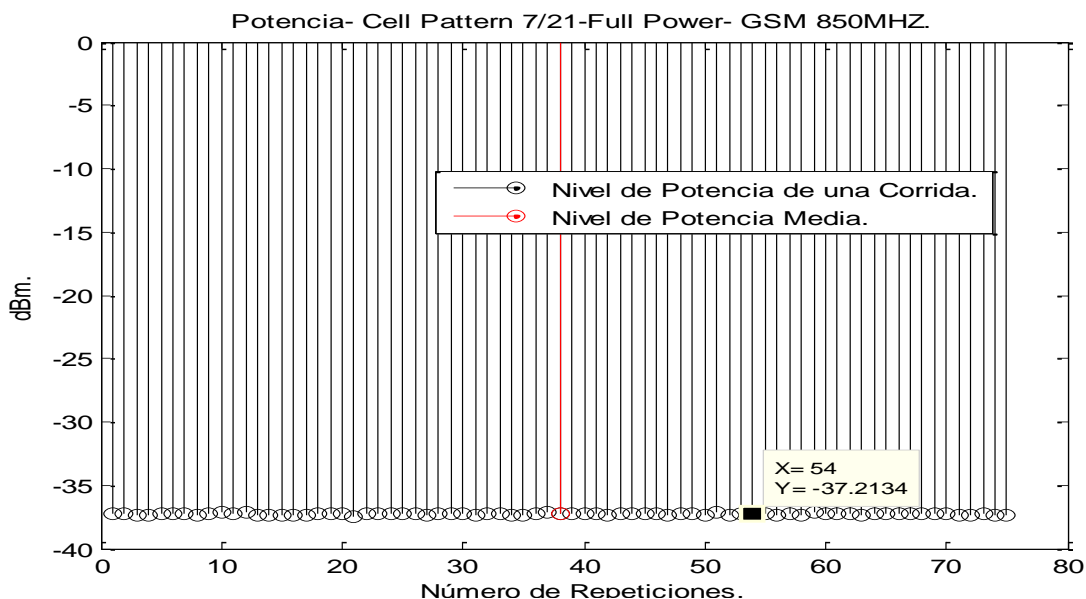


**Figura 4.20 Comparación Entre los Límites de la UIT K52 y la Energía Absorbida por una Persona en 75 Repeticiones/7 Emplaza.**



**Figura 4.21 Cálculo del SAR Media para 75 Repeticiones/7 Emplaza. Para Banda 850 MHz y una Antena 17.2 dBi, 5° de Tilt y 66° de Ancho de Haz Efectivo.**





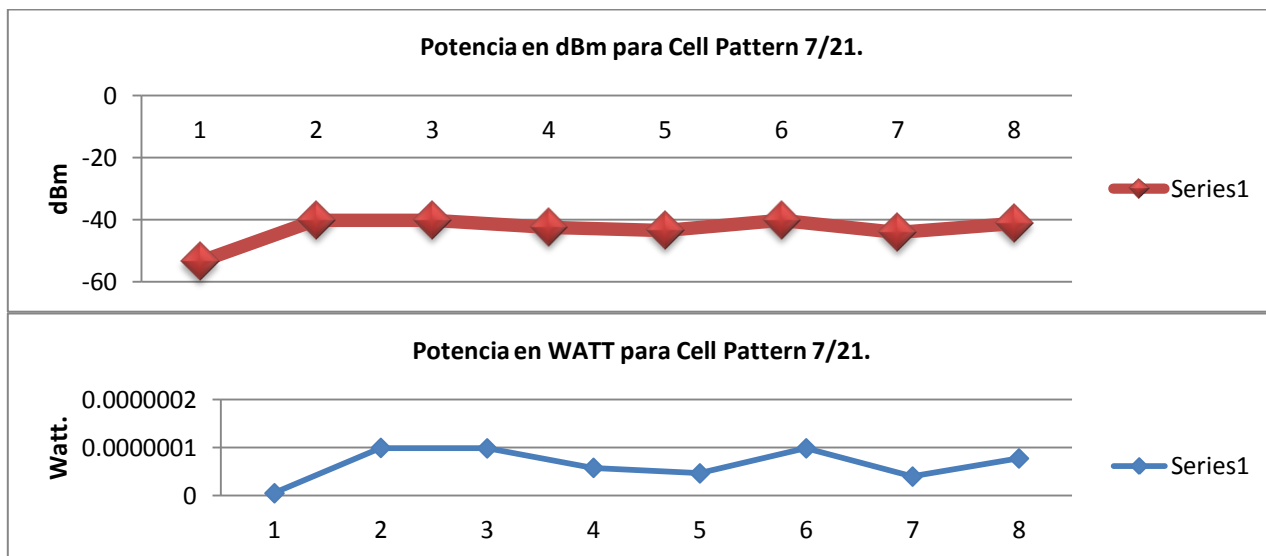
**Figura 4.22 Cálculo de la Potencia Media para 75 Repeticiones/7 Emplaza Para Banda 850 MHz y una Antena 17.2 dBi, 5° de Tilt y 66° de Ancho de Haz Efectivo.**

**Tabla 4.5 Resultados de Simulaciones en Función del Estándar, Espectro Asignado, tipo de antena y Configuración de Radiotransmisores para un Cluster 7/21.**

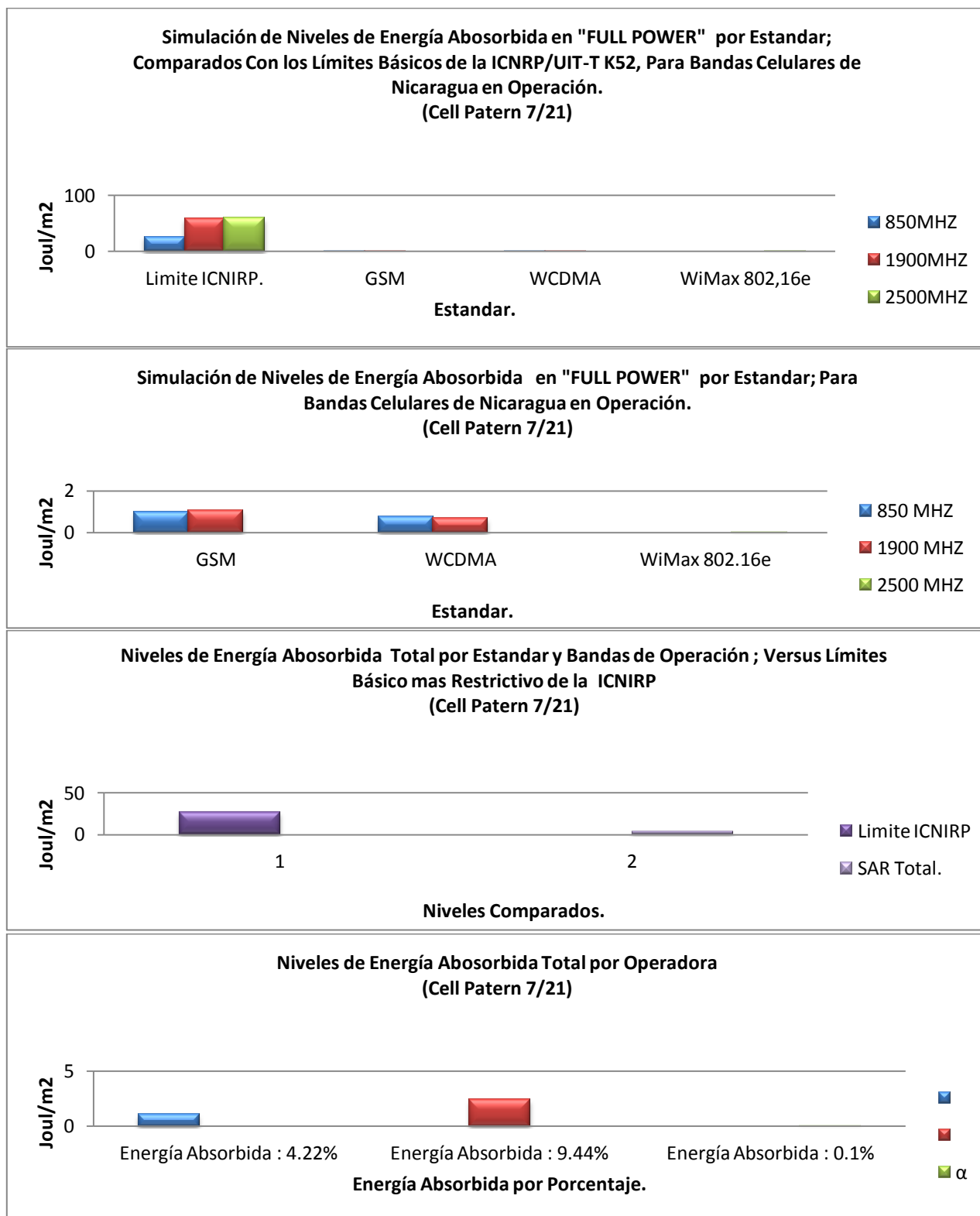
Banda. (MHZ)	Marca	Polarización	Ganancia (dBi)	Tilt. (°)	Ancho o Haz E. (°)	Umbral Energ. A $\frac{J}{m^2}$	Energía. Absorb(75R) $\frac{J}{m^2}$	Umbral SAR $\frac{W}{Kg}$	Umbral SAR(75R) $\frac{mW}{Kg}$	Potencia dBm	Potencia nW
2500 (WiMax) 3/2 DL:(2620- 2650MHZ)	Andrew. W2XX-6516DS- VTM (2496- 2690MHZ)	H	18	10	65	60	0.025799	0.08	0.04785	-53.4454	4.52
1900 (GSM) 3/4 DL:(1975-1990 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850- 1990MHZ)	H	17.4	4	62	58.785	0.53247	0.08	0.9919 9	-40.084	99.224
1900 (GSM) 3/4 DL:(1945-1950 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850- 1990MHZ)	H	17.4	4	62	58.785	0.5321	0.08	0.9965	-40.0771	98.224
1900 (WCDMA) 3/4 DL:(1930-1945 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850- 1990MHZ)	H	17	8	62	58.785	0.43408	0.08	0.49056	-42.3945	57.616



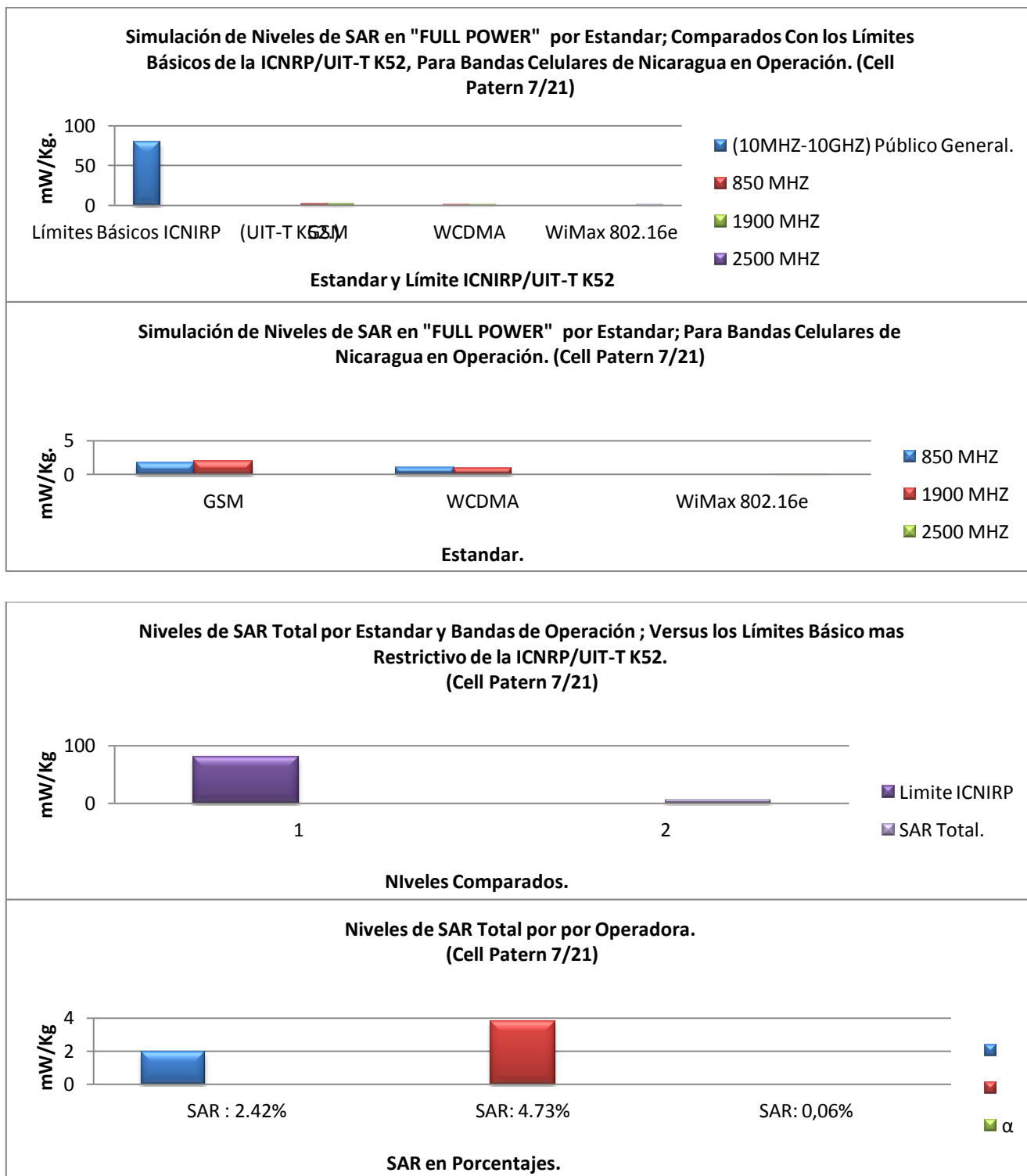
1900 (WCDMA) 3/2 DL:(1945-1950 MHZ)	Kathrein. 742223V02 (1850- 1990MHZ)	H	17	8	62	58.785	0.26335	0.08	0.48845	-43.3739	45.984
850 (GSM) 3/4 DL:(880.020- 889.980MHZ)	Kathrein. 80010306 (824-894MHZ)	H	17.2	5	66	26.595	1.00001	0.08	1.72855	-40.0739	98.313
850 (WCDMA) 3/2 DL:(869.040- 879.990MHZ)	Kathrein. 80010306 (824-894MHZ)	H	17.1	9.5	66	26.595	0.32804	0.08	0.4539	-44.0548	39.311
850 (WCDMA) 3/4 DL:(880.020- 889.980MHZ)	Kathrein. 80010306 (824-894MHZ)	H	17.1	9.5	66	26.595	0.45074	0.08	0.57993	-41.1224	77.225



**Figura 4.23 Valor Promedio de la Potencia en dBm y nW por Espectro Asignado  
Para 7 Emplazamientos.**



**Figura 4.24 Niveles de Energía Abosorbida por Espectro Asignado, Comparados con sus Límites Según UIT-K.52.**



**Figura 4.25 Niveles de SAR por Espectro Asignado, Comparados con sus Límites Según UIT-K.52.**



Si para este caso realizamos la evaluación de múltiples fuentes (considerando la ecuación 4.22) para todas las bandas de operación que se han venido analizando (850, 1900, 2500 MHz donde cada banda de operación puede estar compartida como mínimo por dos operadores<sup>30</sup>), tendremos arreglos de 3 sectores para cada emplazamiento por banda de operación en cada uno de los emplazamientos de los 7 en total ubicados dentro del área de cobertura. Es importante que para este análisis se esté considerando el concepto de *Co-ubicación*.

$\sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left[ \frac{E_i}{EL_i} \right]^2 \leq 1$	0.0272	0.0824	0.0360
Banda/Operación.	2500 MHZ	1900 MHZ	850 MHZ

$$0.15 \leq 1$$

De esta manera comprobamos mediante la simulación el cumplimiento de los límites de Exposición Simultánea a Múltiples Fuentes para 7 emplazamientos. Las Radiaciones No-Ionizantes de las bandas celulares en estudio con 7 Emplazamientos (3 sectores) es del 14.6%. Esto bajo la premisa de que todos los espectros asignados (con el número de antenas analizadas) están funcionando de forma simultánea co-ubicadamente en los 7 emplazamientos del área de cobertura (área totalmente plana), radiando a máxima potencia de simulación (50w por radio transmisor para GSM, 40W para WCDMA y 4W para WiMax 802.16e a Full Power).

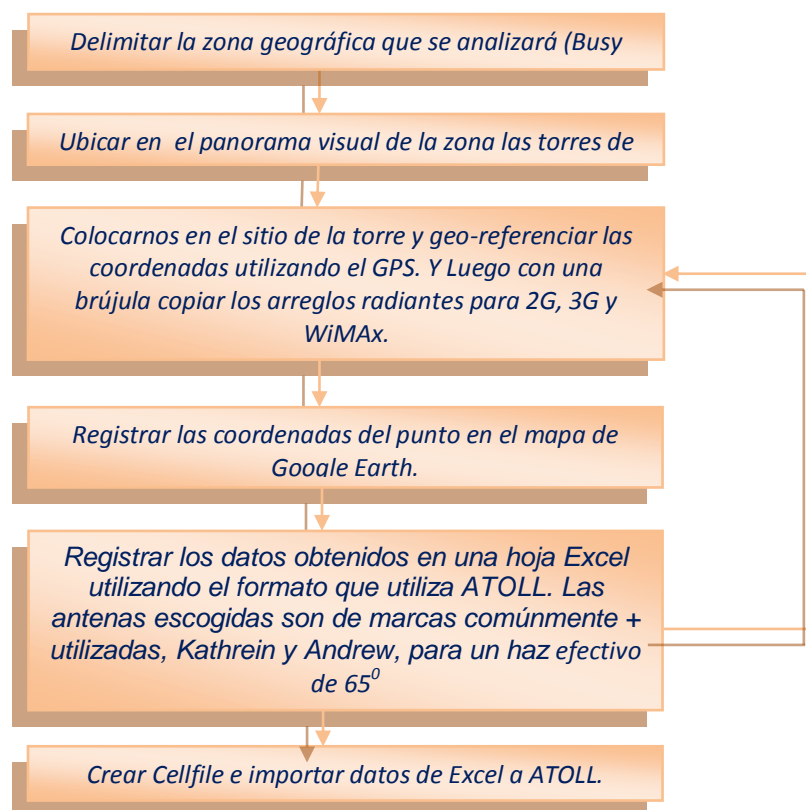
#### 4.3 Simulaciones Utilizando ATOLL para las Redes 2G y 3G de Claro y Movistar, así como para Wimax de Yota de Nicaragua.

En Nicaragua Operadores como Claro (American Móvil) posee dos bandas de frecuencia en 850 y 1900 MHz respectivamente, YOTA Nicaragua que ofrece el servicio de Internet móvil con tecnología WiMax, posee solo una banda de frecuencia como es 2500MHz. ATOLL™ es un software de Radio Planificación y Optimización licenciado que proporciona un conjunto completo e integrado de herramientas y características que permiten crear y definir un proyecto de radio planificación en una sola aplicación mediante la simulación. Para la radio planificación de una red en Atoll es importante tener información de parte del operador que permita conocer la cantidad de sitios posibles dentro del área de cobertura en estudio (para este caso es la ciudad de Managua), así como número de sectores en función del estándar de operación (si es 2G o 3G), azimut de las antenas y su respectivo ángulo de haz efectivo de las mismas así como sus ganancias.

<sup>30</sup> Como en Nicaragua donde CLARO y MOVISTAR Comparten las bandas de 850 MHZ y 1900MHZ.



Como las empresas operadoras de servicios de telecomunicaciones no brindan información técnica de sus redes, como alternativa, usamos una metodología ***para realizar por simulación el análisis de nivel de señal de cobertura asumiendo un escenario más próximo a la realidad mediante la simulación.*** Lo que consistió en un número de emplazamientos muy considerables, donde cada sitio fue geo referenciado (utilizando un GPS); para el caso de YOTA Nicaragua que solo brinda el servicio de internet móvil, posee en su gran mayoría de emplazamientos 3 sectores de forma que cada sector se trató de obtener su componente azimutal mediante una brújula con un margen de error de precisión del 10%. El tipo de antena es Andrew W2XX-6516DS-VTM con un ancho de haz efectivo de 65 grados y una ganancia de 18 dBi. El mismo procedimiento se efectuó para la operadora de telefonía celular CLARO solo que para este caso esta brinda servicios en 2G y 3G y eso implicó realizar una separación entre estas redes para su respectivo análisis. Es importante mencionar que simularemos para ambas operadoras con antenas de tipo Kathrein y Andrew para CLARO con un haz efectivo de 65 grados en función de sus bandas de operación correspondientes. También es importante mencionar que CLARO opera para 2G y 3G en las bandas de 850MHz y 1900MHz. Adicionalmente, es importante mencionar que para las simulaciones realizadas en ATOLL se utilizó cartografía digital para Managua (altitud, densidad poblacional, clúster (clases y alturas) más los mapas vectores. En la figura 4.26 se muestra el algoritmo usado para simular las redes usando Atoll.

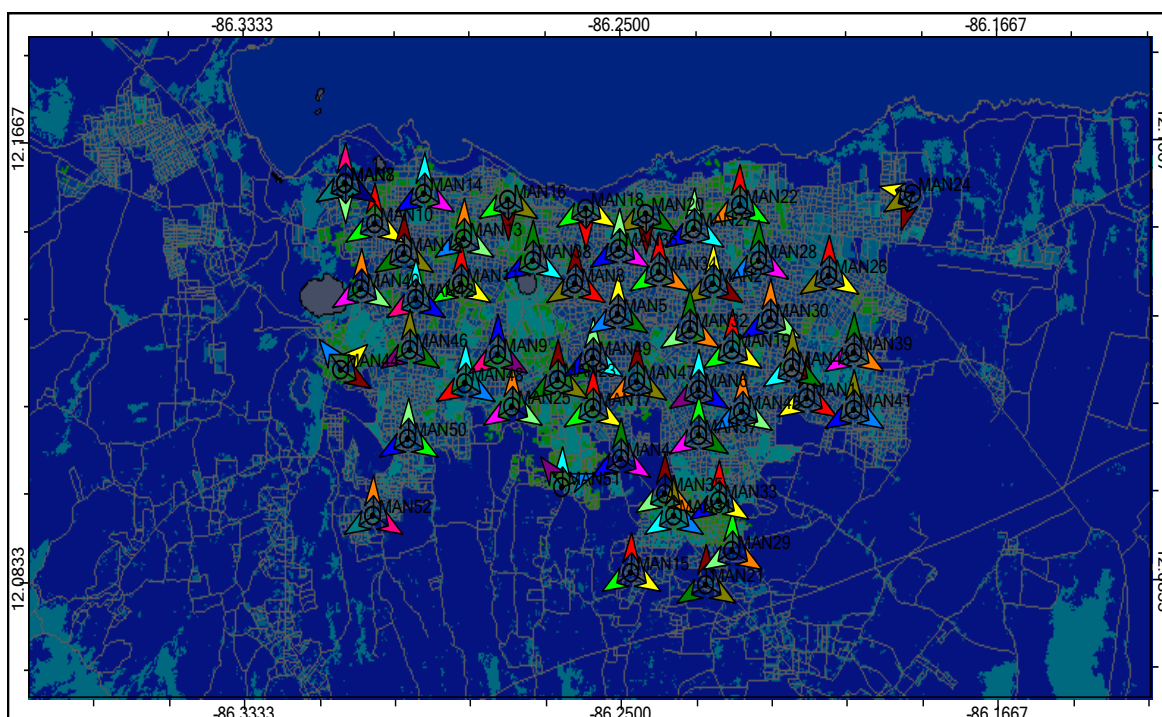


**Figura 4.26 Algoritmo que Emula las Redes en Estudio.**



#### 4.3.1 Simulaciones Utilizando ATOLL para Wimax de YOTA Nicaragua.

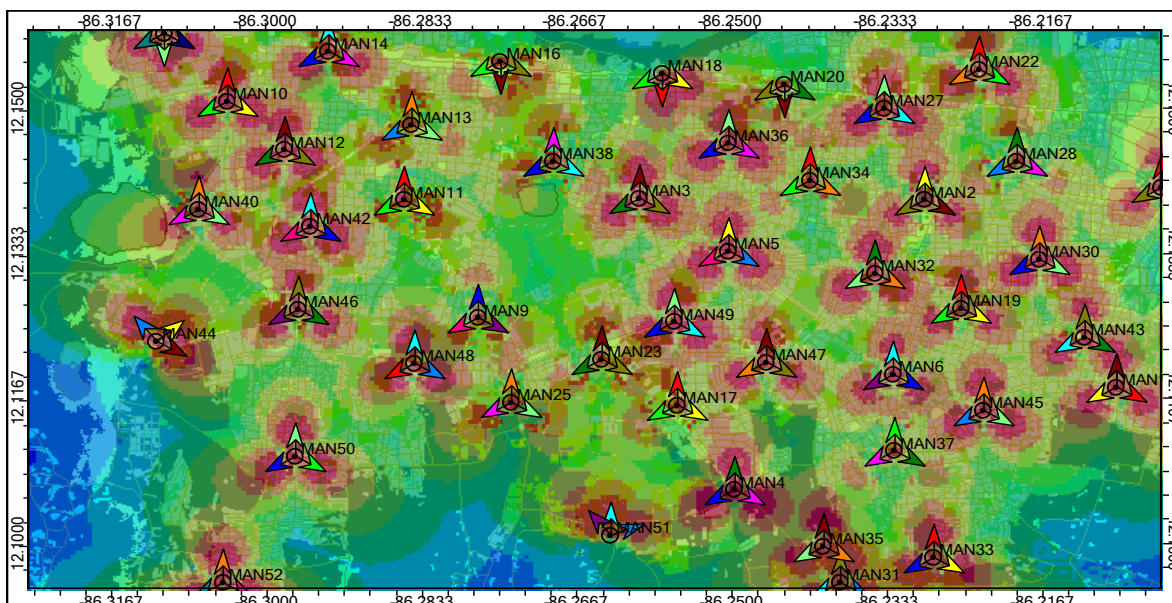
Para el caso de YOTA Nicaragua se tomaron en cuenta 51 emplazamientos ubicados dentro del casco urbano y algunos puntos de la periferia de la ciudad de Managua. (Ver figura 4.27)



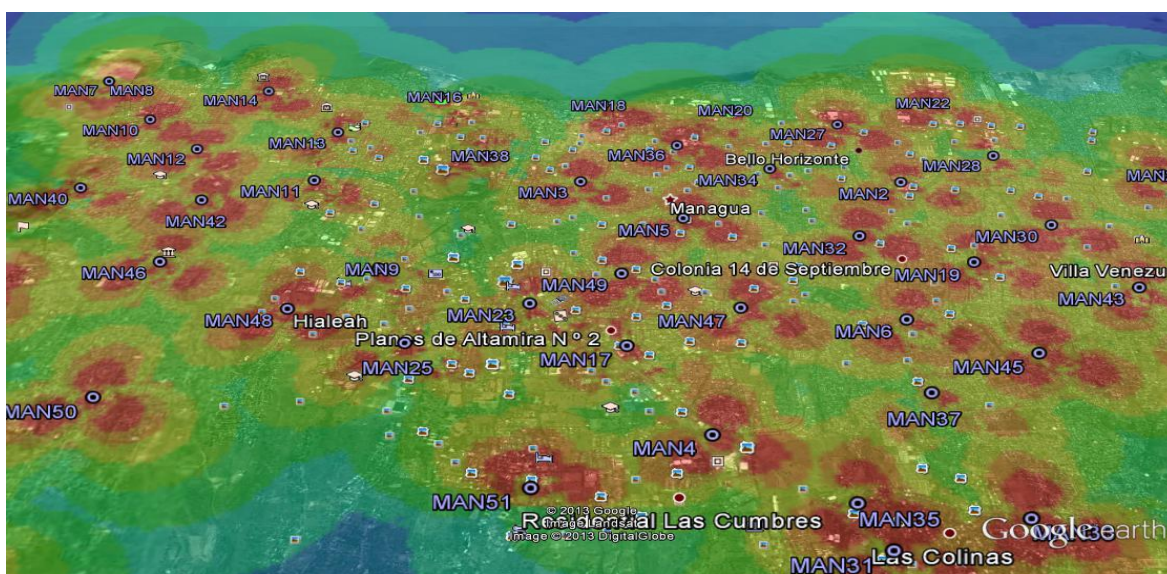
**Figura 4.27 Emplazamientos de YOTA Nicaragua Considerados para Evaluación  
A Niveles de Señal por Cobertura Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua.**

Para este caso se asumió una altura de las antenas de 30m. En todos los emplazamientos considerados en las visitas de campo se constató que solo poseen 3 sectores para la red YOTA Nicaragua. El modelo de propagación estándar (SPM) fue el utilizado, con una figura de ruido de 5 dB. Toda esta información está contenida dentro de la pestaña de transmisor (transmitter) de ATOLL utilizando templates para WiMax 802.16e. La antena utilizada es la Andrew W2X 6516DS\_VTM con ganancia de 18.36 dBi, un Beamwidth de 65 grados con polarización H. y un tilt eléctrico de 2 grados, (promedio de la mayoría de antenas instaladas según funcionario de YOTA Nicaragua); no contemplada en la base de datos original de ATOLL lo que tuvo que ser importada. La banda de operación es de 2.5GHz-20MHz con una potencia de 42 dBm para configuración de full power (2 radiotransmisores por sector) y a cada emplazamiento se le consideró un total de 32 vecinas incluyendo las de co-ubicación. En la figura 4.28 se muestra la simulación de nivel de señal por cobertura aproximada para YOTA Nicaragua

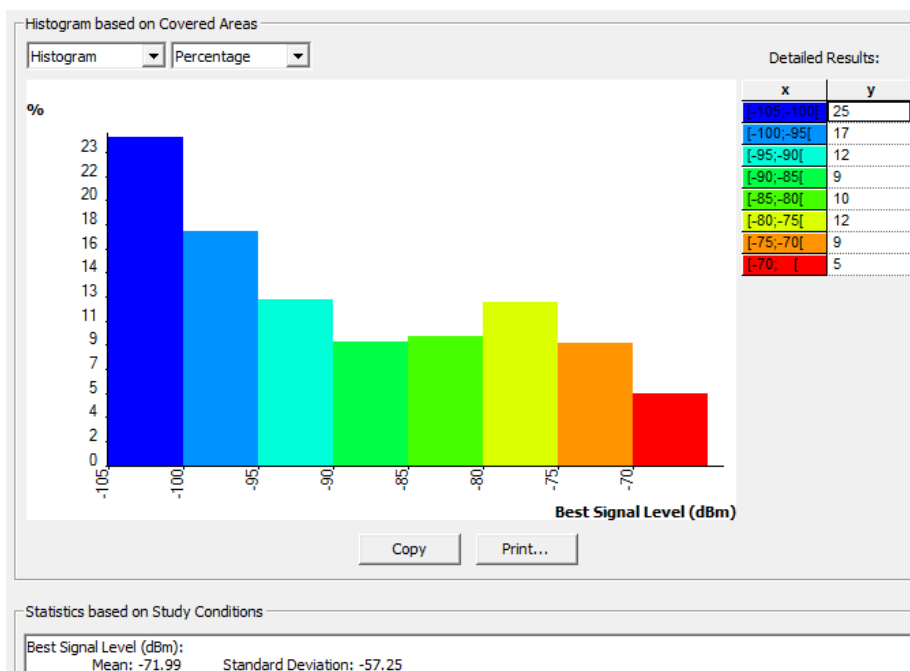




**Figura 4.28 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para YOTA Nicaragua  
Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua.**



**Figura 4.29 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para YOTA Nicaragua  
Desde Google Earth de la Ciudad de Managua.**



**Figura 4.30** Histograma y Reporte de Niveles de Señal por Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para YOTA Nicaragua.

#### 4.3.2 Simulaciones Utilizando ATOLL para 2G y 3G de CLARO en 850MHz y 1900MHz.

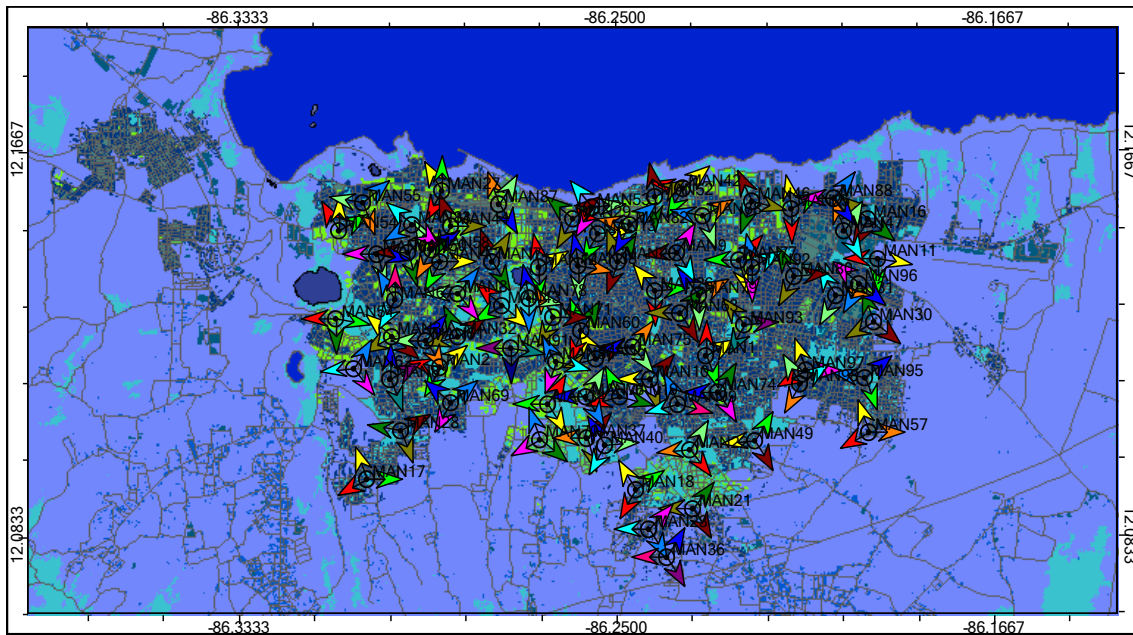
La operadora CLARO actualmente en Nicaragua posee una red de 2G y sus evoluciones y una de 3G en WCDMA, ambas en las bandas de 850MHz y 1900MHz siendo la de 850MHz la primera portadora. Se hará la **simulación para el análisis de nivel de señal de cobertura y así poder conocer cuál es el nivel de potencia más alto de la red.**

##### *Simulaciones Utilizando ATOLL para 3G de CLARO en 850MHz y 1900MHz.*

Para este caso se realizó la evaluación mediante técnicas de simulación utilizando ATOLL para la red de 3G de CLARO de forma separada en dependencia de la banda de operación.

##### *Simulaciones Utilizando ATOLL para 3G de CLARO en 850MHz.*

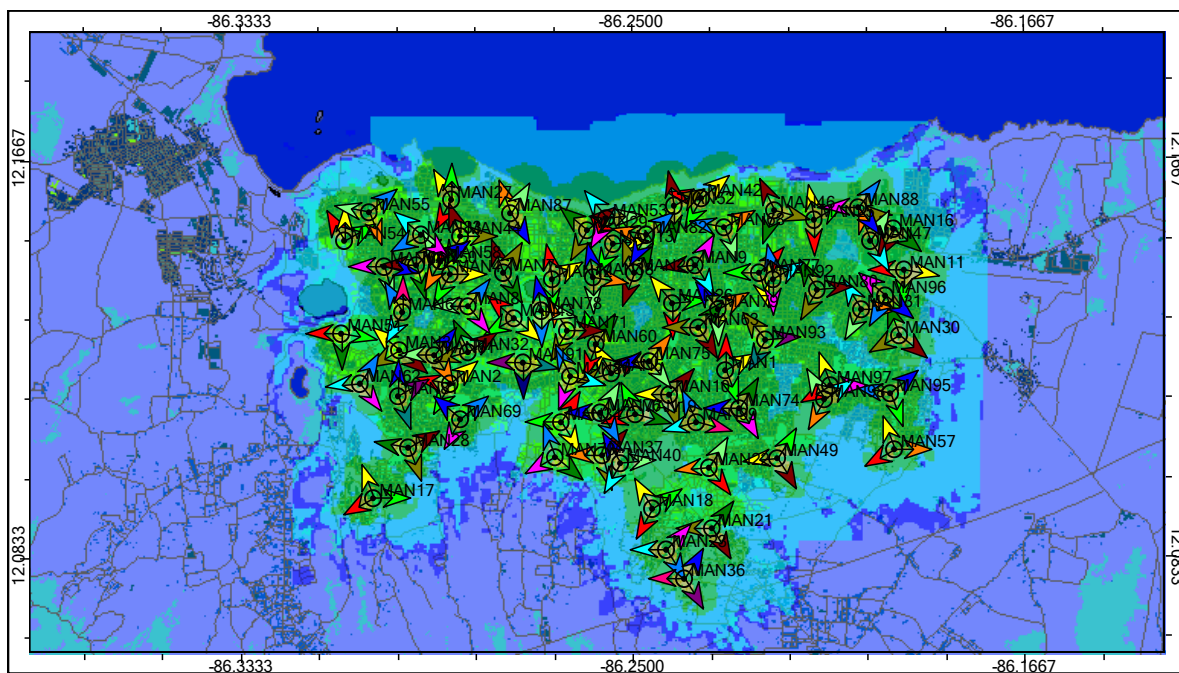
Para la red 3G-850MHz de CLARO se tomaron en cuenta 76 emplazamientos ubicados dentro del casco urbano y algunos puntos de la periferia de la ciudad de Managua. (Ver figura 4.31)



**Figura 4.31 Emplazamientos de CLARO 3G-850MHz Considerados para Evaluación  
A Niveles de Señal por Cobertura Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua.**

Para esta red se consideró una altura de las antenas de 30 m. (promedio de la mayoría de antenas instaladas según indagaciones realizadas a técnicos operarios de CLARO). En todos los emplazamientos mediante las visitas de campo se constató que solo poseen 3 sectores para la red 3G. El modelo de propagación estándar fue el utilizado, una figura de ruido de 5 dB. Toda esta información está contenida dentro de la pestaña de transmisor (transmitter) de ATOLL utilizando templates para UMTS HSPA. La antena utilizada es la KATHREIN 80010306 con ganancia de 17.1 dBi y un Beamwidth de 66 grados con polarización H y un tilt eléctrico de 9.5 grados; no contemplada en la base de datos original de ATOLL lo que tuvo que ser importada. La banda de operación es de 850MHz con una potencia de 52.04 dBm para configuración de full power (4 radiotransmisores por sector) y a cada emplazamiento se le consideró un total de 32 vecinas incluyendo las de co-ubicación, los PSC (Primary Scrambling Code) fueron alojados de forma arbitraria entre 1 a 512 considerando los niveles de interferencias. En la figura 4.32 se muestra la simulación de nivel de señal por cobertura aproximada para CLARO 3G-850MHz en macro cell.

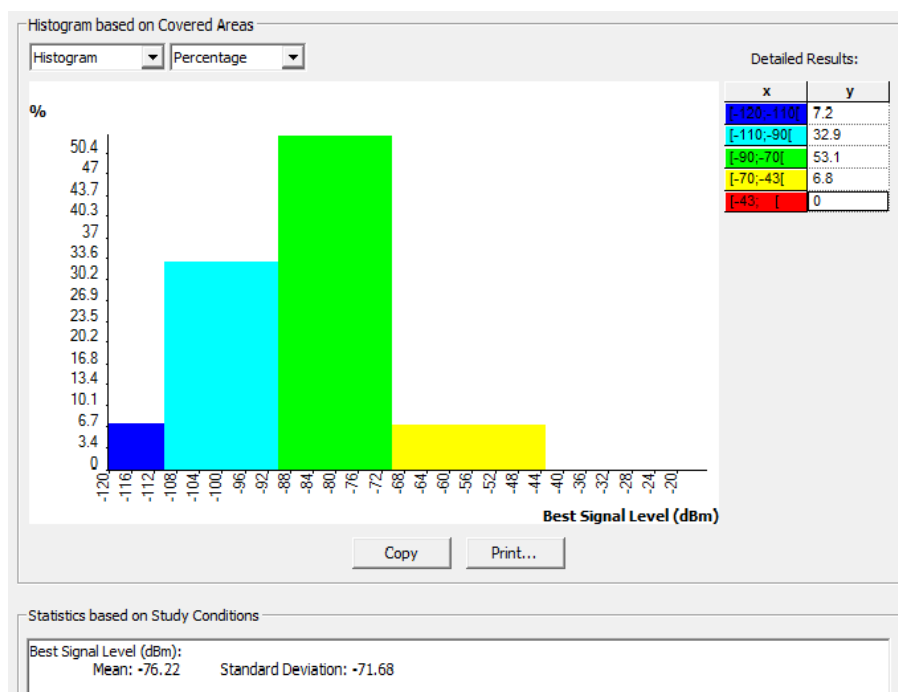




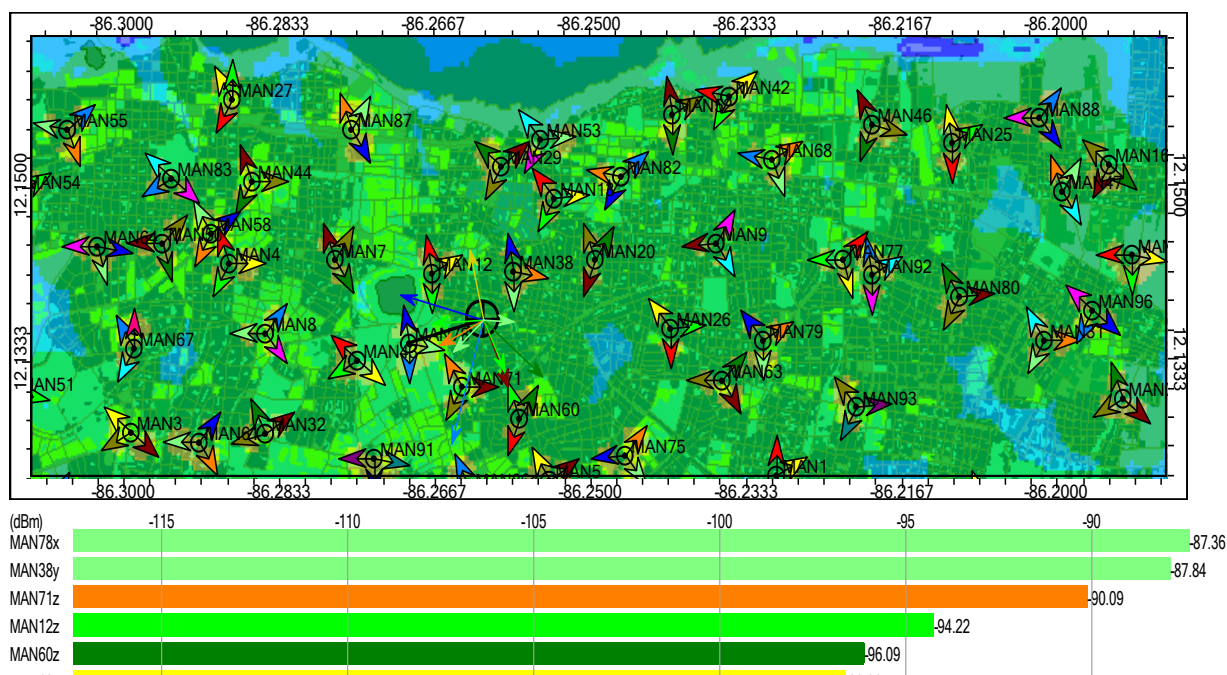
**Figura 4.32 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 3G - 850MHz  
Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua.**



**Figura 4.33 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 3G-850MHz  
Desde Google Earth de la Ciudad de Managua.**



**Figura 4.34** Histograma y Reporte de Niveles de Señal por Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 3G-850MHz.



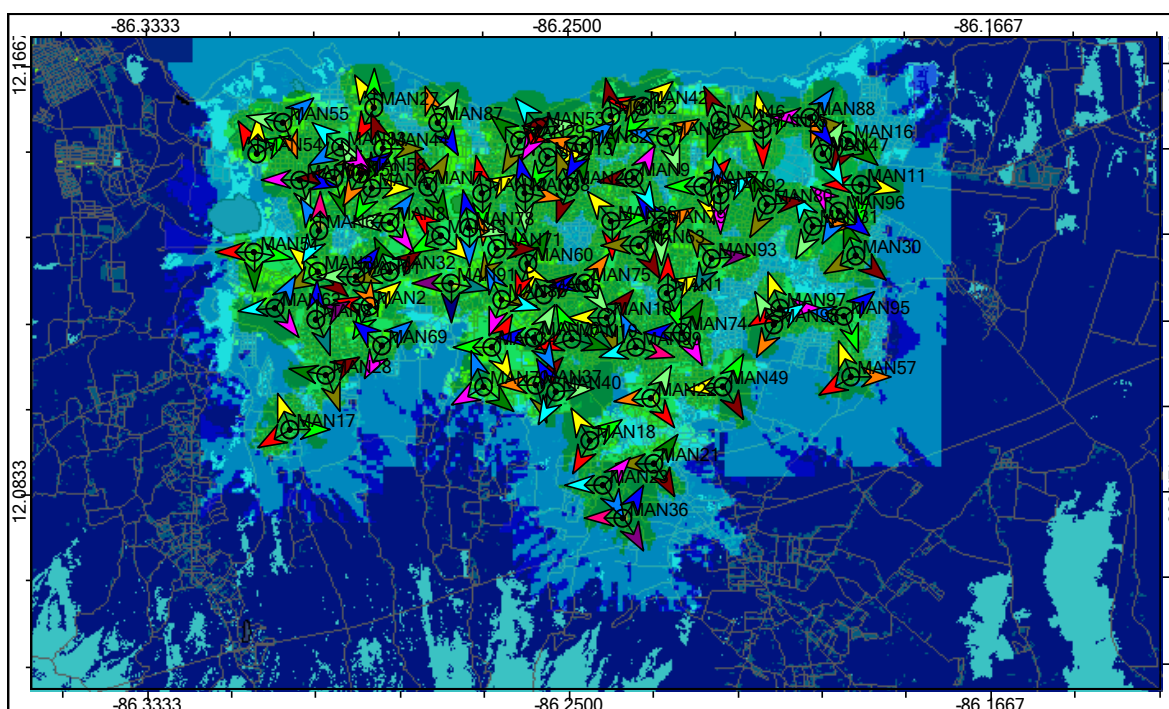
**Figura 4.35** Análisis de Niveles de Potencia Recibidas, CLARO 3G-850MHz.



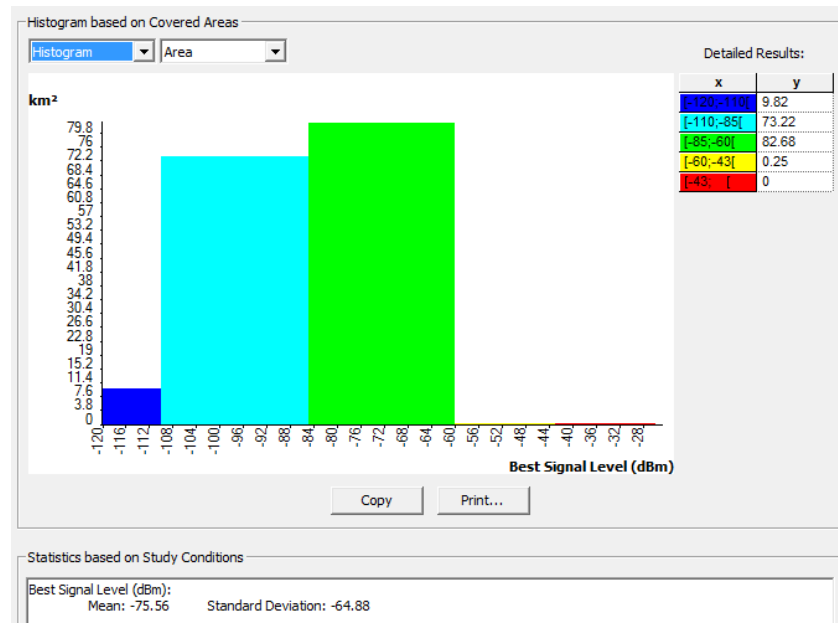


### Simulaciones Utilizando ATOLL para 3G de CLARO en 1900MHz.

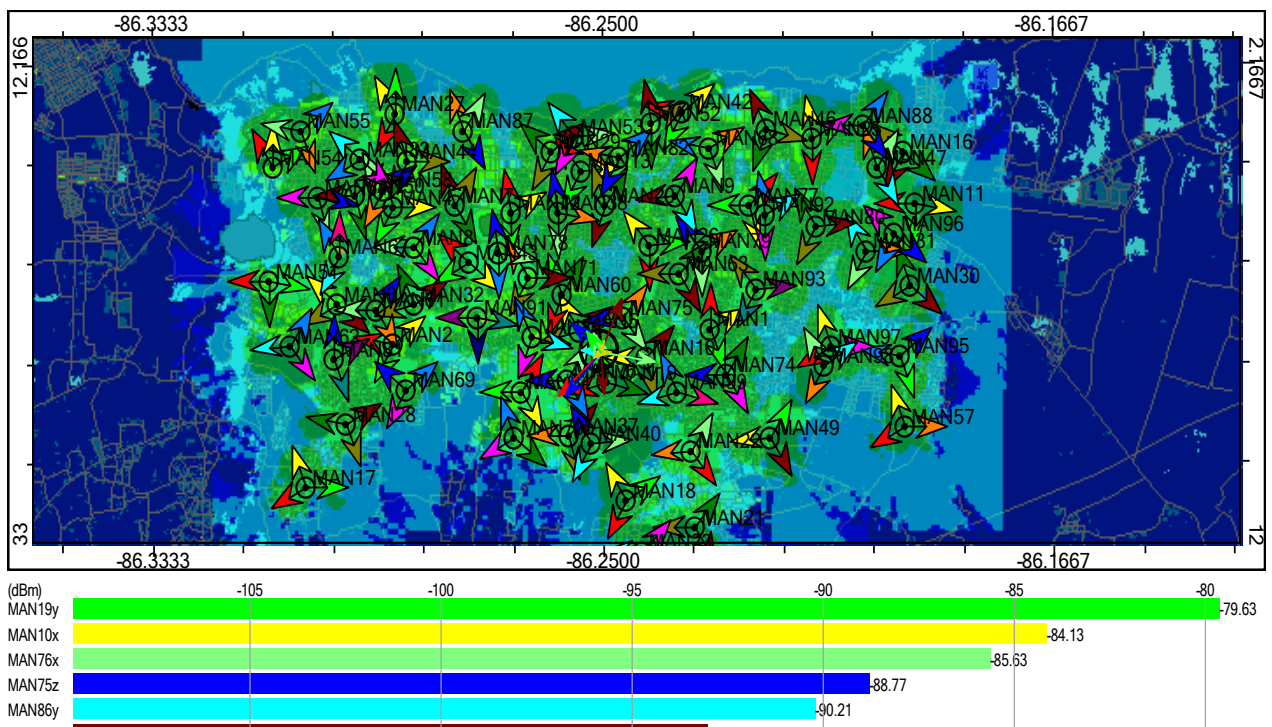
Para la red 3G-1900MHz (en macro cell) de CLARO se tomaron en cuenta 76 emplazamientos ubicados dentro del casco urbano y algunos puntos de la periferia de la ciudad de Managua. Para esta red se consideró una altura de las antenas de 30 m (promedio de la mayoría de antenas instaladas según indagaciones realizadas a técnicos operarios de CLARO). En todos los emplazamientos tomados en cuenta en las visitas de campo se constató que solo poseen 3 sectores para la red 3G-1900MHz. El modelo de propagación estándar fue el utilizado, una figura de ruido de 5 dB. Toda esta información está contenida dentro de la pestaña de transmisor (transmitter) de ATOLL utilizando templates para UMTS HSPA. La antena utilizada es la KATHREIN 742223V01, con ganancia de 17.5 dBi y un Beamwidth de 65 grados con polarización H y un tilt eléctrico de 4 grados, no contemplada en la base de datos original de ATOLL lo que tuvo que ser importada. La banda de operación es de 1900MHz con una potencia de 52.04 dBm y a cada emplazamiento se le consideró un total de 32 vecinas incluyendo la de co-ubicación, los PSC (Primary Scrambling Code) fueron alojados de forma arbitraria entre 1 a 512 considerando los niveles de interferencias. En la figura 4.36 se muestra la simulación de nivel de señal por cobertura aproximada para CLARO 3G-1900MHz.



**Figura 4.36 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 3G - 1900MHz  
Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua.**



**Figura 4.37** Histograma y Reporte de Niveles de Señal por Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 3G-1900MHz.



**Figura 4.38** Análisis de Niveles de Potencia Recibidas, CLARO 3G-1900MHz.

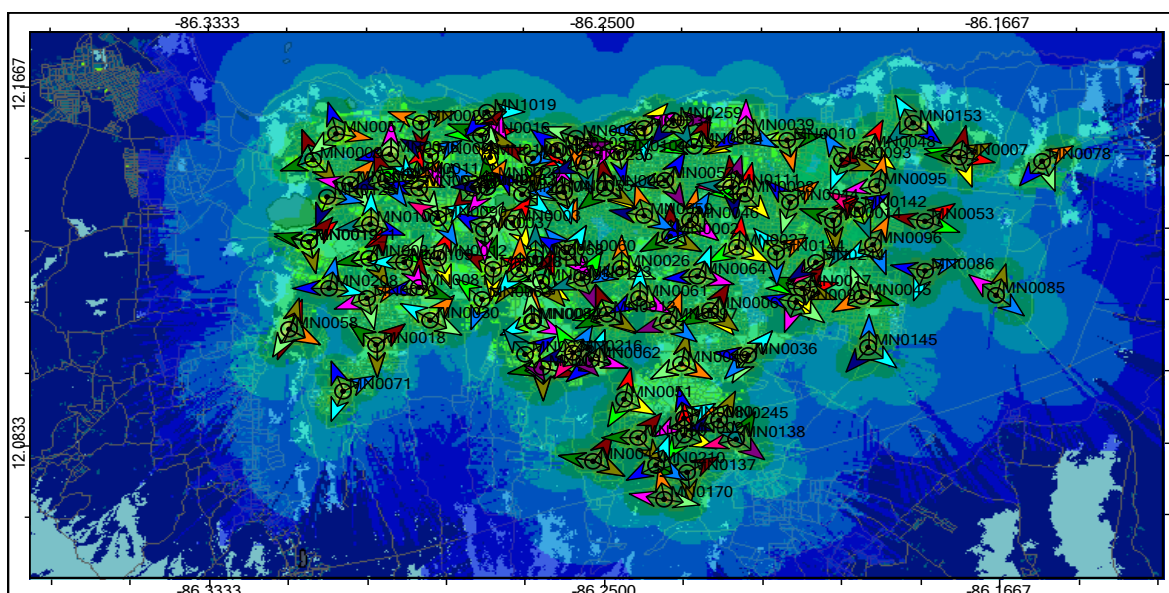


### *Simulaciones Utilizando ATOLL para 2G de CLARO tanto en 850MHz y 1900MHz.*

Para este caso se realizó la evaluación mediante técnicas de simulación utilizando ATOLL para la red de 2G de CLARO igual que la de 3G, de forma separada en dependencia de la banda de operación.

#### *Simulaciones Utilizando ATOLL para 2G de CLARO en 850MHz.*

Para la red 2G-850MHz de CLARO se tomaron en cuenta 99 emplazamientos ubicados dentro del casco urbano y algunos puntos de la periferia de la ciudad de Managua. Para esta red se consideró una altura de las antenas de 25 m (promedio de la mayoría de antenas instaladas según indagaciones realizadas a técnicos operarios de CLARO). En todos los emplazamientos tomados en cuenta en las visitas de campo se constató que pueden poseer entre 3 hasta 6 sectores para la red 2G en 850MHz. El modelo de propagación estándar (SPM), fue el utilizado, una potencia isotrópica radiada equivalente (EIRP, por sus siglas en inglés) de 52.04 dBm. Toda esta información está contenida dentro de la pestaña de transmisor (transmitter) de ATOLL utilizando templates para GSM GPRS EGPRS. La antenna utilizada es la KATHREIN 80010766, con ganancia de 16.9 dBi y un Beamwidth de 65 grados con polarización H y un tilt eléctrico de 2 grados, no contemplada en la base de datos original de ATOLL lo que tuvo que ser importada. El dominio de frecuencia es GSM 850MHz, y a cada emplazamiento se le consideró un total de 32 vecinas incluyendo las de co-ubicación. En la figura 4.39 se muestra la simulación de nivel de señal por cobertura aproximada para CLARO 2G-850MHz.



**Figura 4.39 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 2G - 850MHz  
Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua.**





Figura 4.40 Niveles de Señal de Cobertura Aproximada para CLARO 2G-850MHz Desde Google Earth de la Ciudad de Managua.

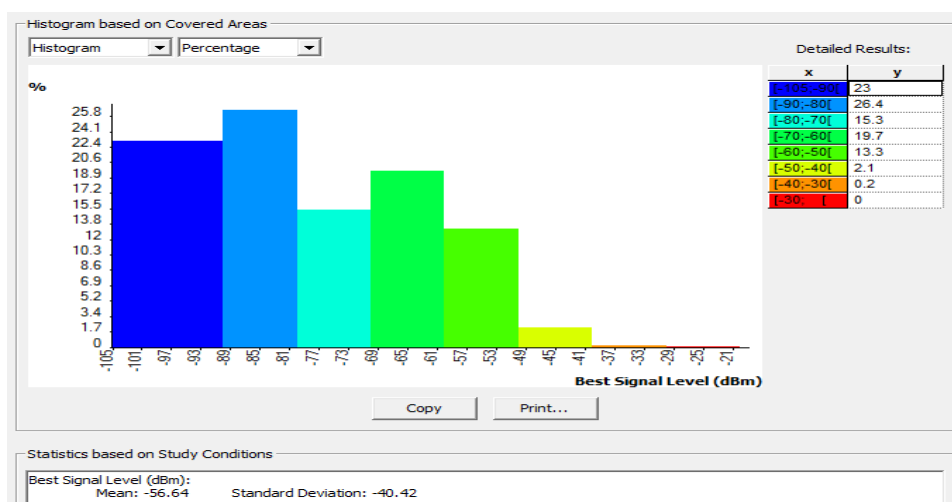


Figura 4.41 Histograma y Reporte de Niveles de Señal de Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 2G-850MHz.

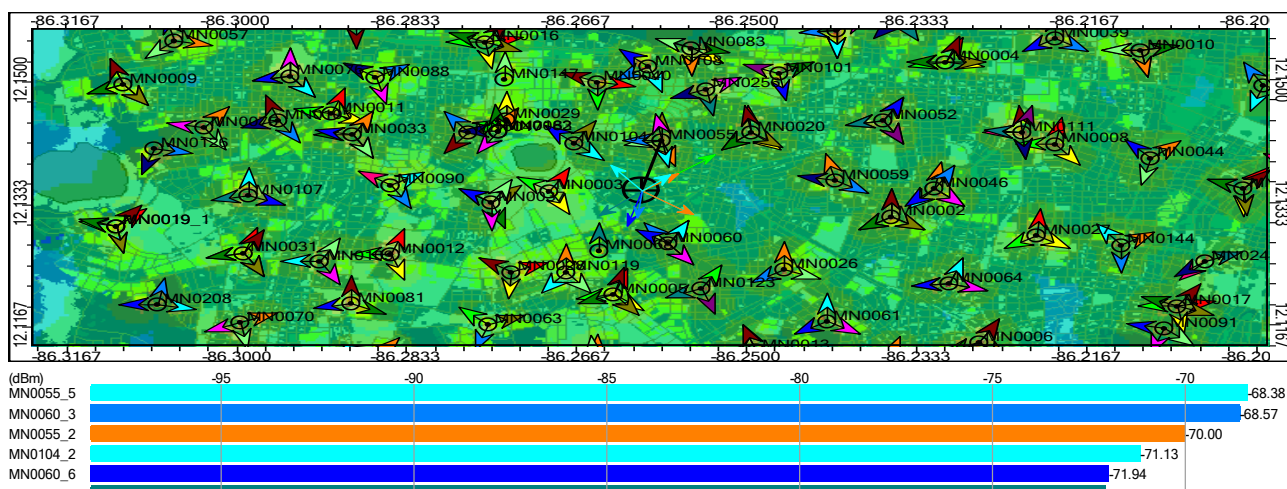


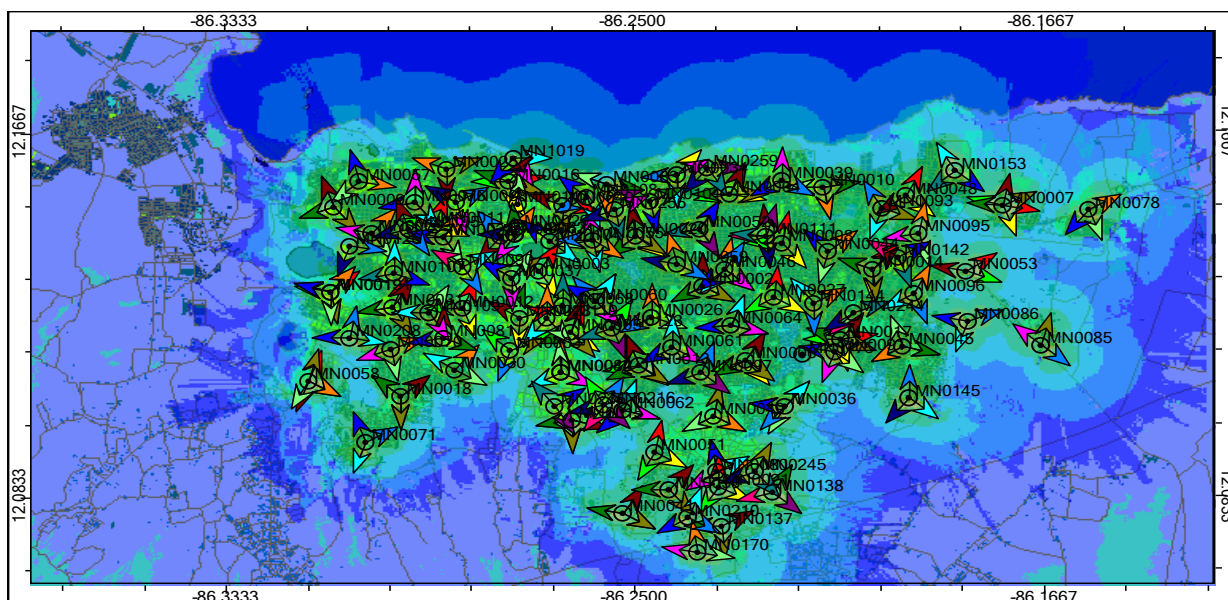
Figura 4.42 Análisis de Niveles de Potencia Recibidas, CLARO 2G-850MHz.

## Simulaciones Utilizando ATOLL para 2G de CLARO en 1900MHz.

Para la red 2G-1900MHz de CLARO se partió de:

- 1) Número de Emplazamientos: 99.
- 2) Localidad: Municipio de Managua casco urbano y algunas periferias.
- 3) Altura de las antenas: 30m
- 4) Tipo de Antena: KATHREIN 742225V01
- 5) Tilt Eléctrico: 4 grados
- 6) Ganancia: 18.7 dBi
- 7) Polarización: H.
- 8) Ancho de haz efectivo: 65 grados
- 9) Número de sectores: De 3 – 6 sectores por emplazamiento.
- 10) Modelo de propagación: Estándar.
- 11) Power(dBm): 52.04 dBm
- 12) Dominio de frecuencia: GSM1900MHz
- 13) Número de Vecinas: 32.
- 14) Límites UIT-K52: Frecuencia/200= 9.5 W/m<sup>2</sup>
- 15) Tiempo promedio UIT-K52: 6 minutos.
- 16) Límites UIT-K52 en energía: 57 J/m<sup>2</sup>

En la figura 5.42 se muestra la simulación de nivel de señal por cobertura aproximada para CLARO 2G-1900MHz.



**Figura 4.43 Niveles de Señal por Cobertura Aproximada para CLARO 2G - 1900MHz Utilizando Cartografía Digital de la Ciudad de Managua.**





## Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.

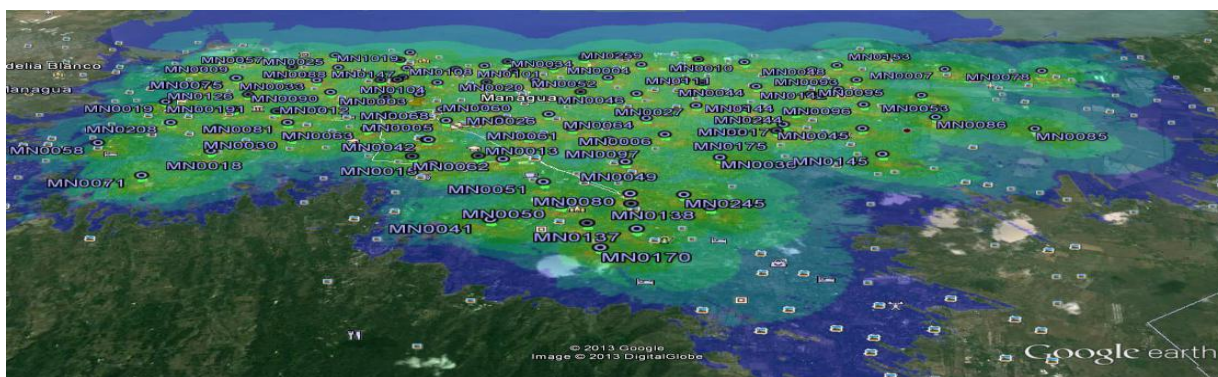


Figura 4.44 Niveles de Señal de Cobertura Aproximada para CLARO 2G-1900MHz Desde Google Earth de la Ciudad de Managua.

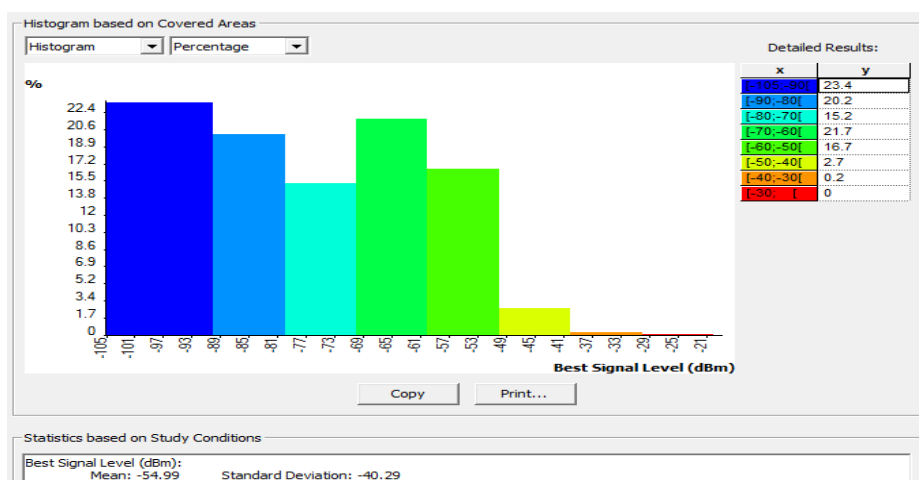


Figura 4.45 Histograma y Reporte de Niveles de Señal de Cobertura Aproximada en % de la Ciudad de Managua para CLARO 2G-1900MHz.

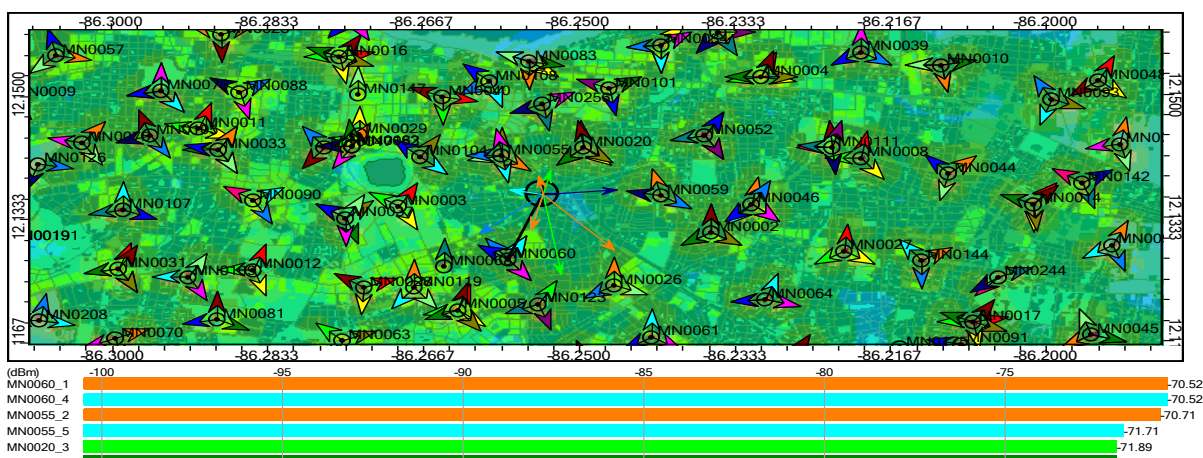


Figura 4.46 Análisis de Niveles de Potencia Recibidas CLARO 2G-1900MHz.



#### **4.4 Verificación Experimental de los Niveles de RNI.**

Anteriormente se efectuó una serie de simulaciones que permitieron realizar una evaluación de los niveles de emisiones de RNI de las redes celulares en Nicaragua. Sin embargo para la verificación de los resultados obtenidos por simulación realizamos mediciones que permitan hacer comparaciones con los valores simulados, para realizar las primeras aproximaciones conclusivas. Es importante mencionar que para este punto se consideró las recomendaciones UIT-K61 y la UIT-K83.

##### **4.4.1 Medición Experimental para YOTA Nicaragua (WiMax 802.16e).**

###### *Procedimiento.*

Una vez conseguido el apoyo de YOTA Nicaragua, se consideró la realización de 3 mediciones fijando en primer lugar la ruta de medición (Ver Fig. 3.2). Para esta operadora el mercado oriental carretera a Masaya pasando por Metro centro en la hora pico contenida en el rango de (2-5PM) es decir de mayor tráfico.

###### *Método de Medición.*

El método de medición es selectiva<sup>31</sup> el equipo que se utilizó fue un GPS, BU-353 de **GlobalSat**, un modem YOTA, y el software *OPTis-WX Analyzer*. Esta medición fue realizada por el Ing. Oscar Martínez, el Ing. Carlos Eduardo Rodríguez de la UNI y el Ing. Porfirio Escorcía, Ingeniero RF de YOTA Nicaragua. Los parámetros utilizados en la evaluación son:

*RSSI = Received Signal Strength Indicator.*

*TX POWER= Transmit Power Level.*

*THROUGHPUT=Average Rate of Successful Message Delivery Over a Communication Channel.*

---

<sup>31</sup> Ver Inciso 7. De la recomendación UIT-T K83, "Método de Medición Selectiva".



Presentación de Resultados Obtenidos Mediante Mediciones.

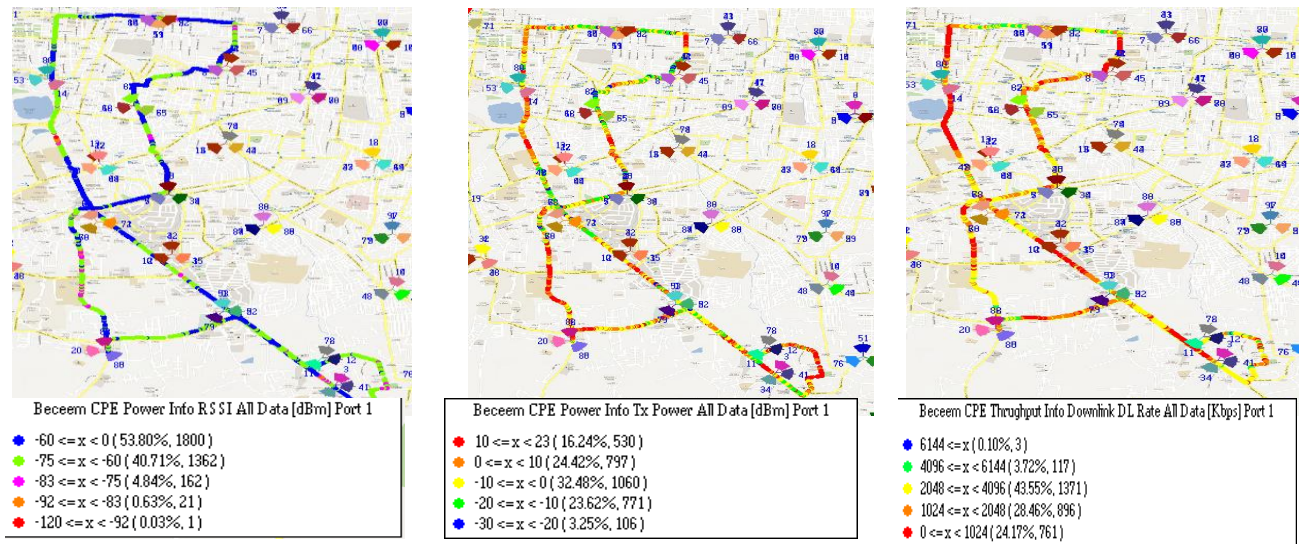


Figura 4.47 Resultados de Drive Test de YOTA Nicaragua en WiMax 802.16e (2500MHz).

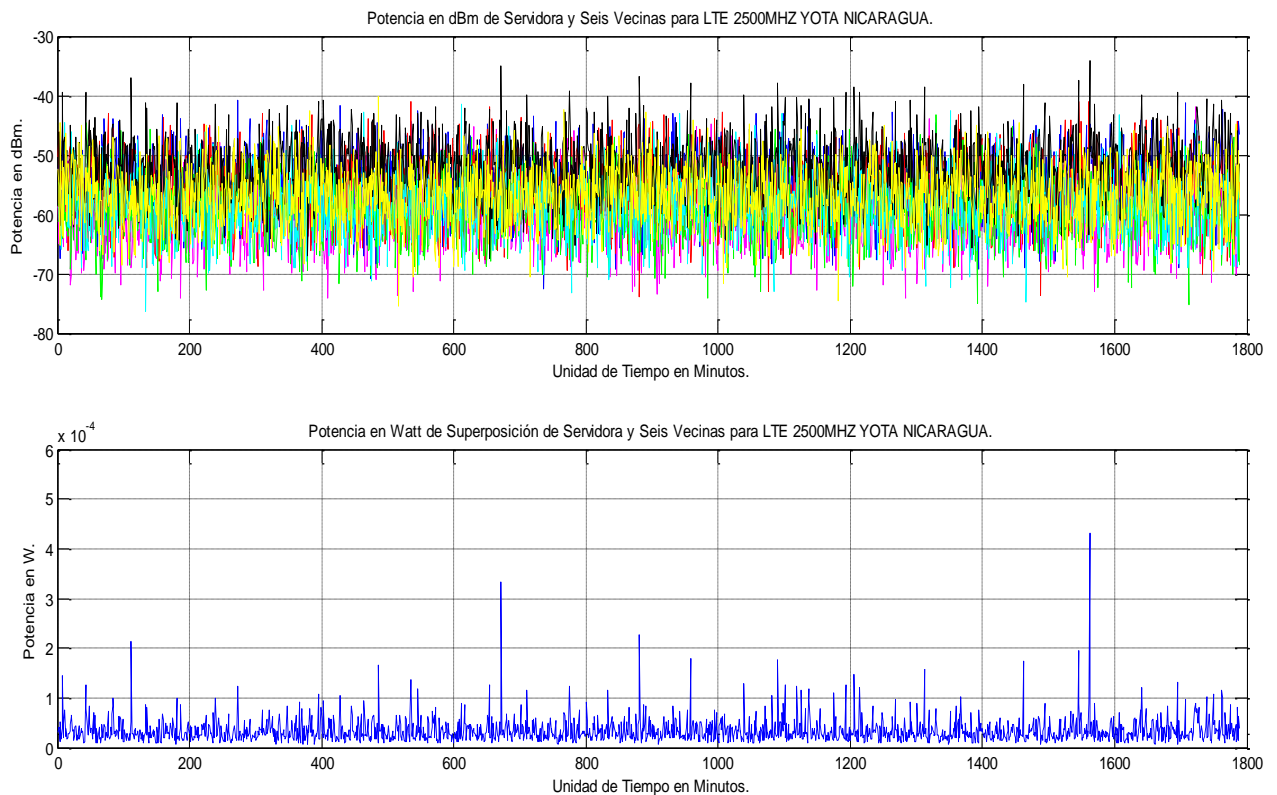
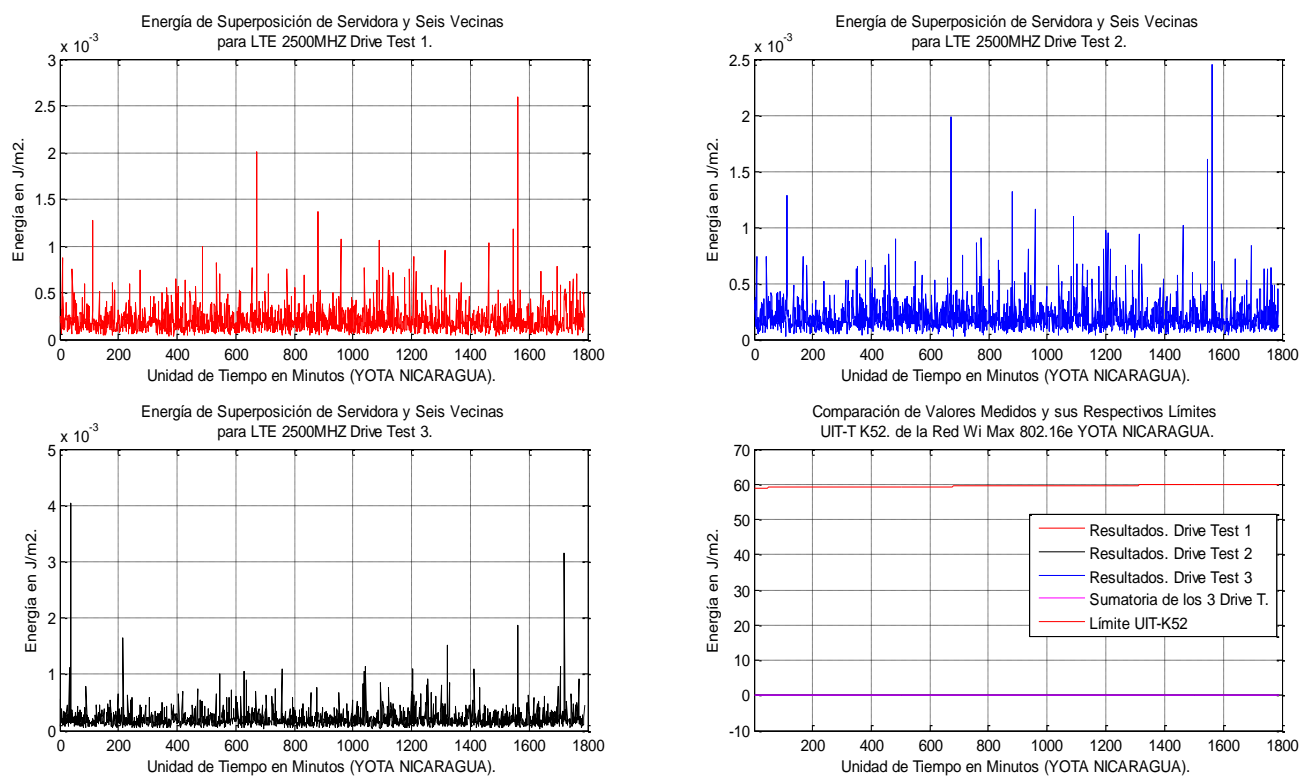


Figura 4.48 Potencia en dBm de Servidoras y Vecinas y su Sumatoria (YOTA NICARAGUA.)



*“Los Niveles de Emisiones de YOTA NICARAGUA Están Bajo la Conformidad de UIT-T K52 / ICNIRP.”*

**Figura 4.49 Sumatoria de Potencia en W de Servidoras y Vecinas; Comparación con Límites UIT-T K52. (YOTA NICARAGUA.)**

Mediante los datos obtenidos por los 3 drive test se graficó todas las emisiones y luego se sumaron (en Watts) para obtener la resultante de sus contribuciones (ver figura 4.48). Este mismo procedimiento se hizo para cada uno de los drive test. Luego se compararon los niveles de potencia con sus correspondientes límites de la UIT-K52 (Ver figura 4.49). Como resultado los niveles de emisión de la red WiMax 802.16e de YOTA NICARAGUA están muy por debajo de los límites establecidos por la UIT-K52, 62, 61 y 83 (Ver figura 4.49) considerando la evaluación de múltiples fuentes simultaneas.

#### 4.4.2 Medición Experimental para CLARO Nicaragua. (2G y3G).

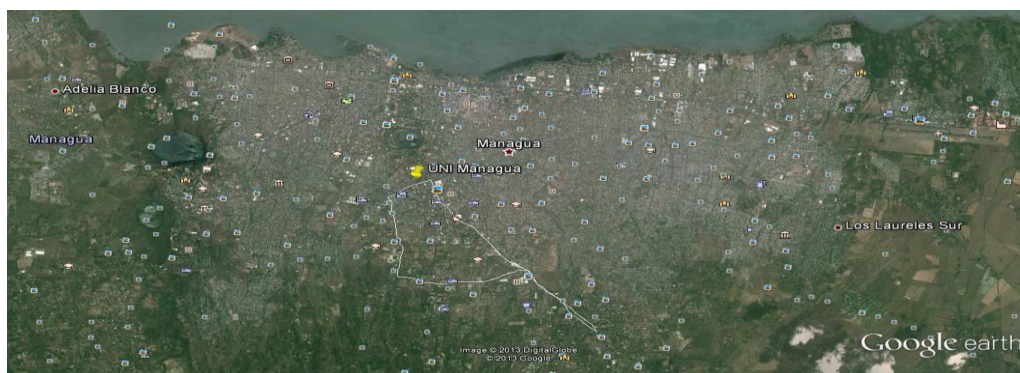
##### *Procedimiento.*

Para el caso de CLARO Nicaragua se consideraron dos tipos de mediciones, en el clúster de mayor tráfico de Managua en hora Pico. La primera medición se realizó con 3 teléfonos en modo ingeniería más el apoyo de un software especializado para la realización del drive test. La segunda medición fue el escaneo de la red de CLARO Nicaragua. El clúster más cargado es UCA, metro centro, carretera Masaya, Las Colinas, Club Terraza UNAN Managua, UCA. Esta es la ruta considerada para las mediciones.





**Figura 4.50 Ruta de Drive Test de Claro en Tems Investigation.**



**Figura 4.51 Ruta de Drive Test de Claro en Google Earth.**

### *Método de Medición.*

Aquí utilizaremos dos metodologías.

El método de medición selectiva,<sup>32</sup> el equipo que se utilizó fue un GPS, BU-353 de **GlobalSat**, tres teléfonos LG modo ingeniería, y el software *Tems Investigation 14.2* de **ASCOM**. Esta medición fue realizada por el Ing. Oscar Martínez, Ing. Carlos Eduardo Rodríguez de la UNI, el Ing. Ezequiel Meza, y el Ing. Roberto Carlos Bravo ambos Ingenieros RF de CLARO Nicaragua. Los parámetros utilizados en la evaluación son:

*RSSI = Received Signal Strength Indicator.*

El segundo método de medición fue el escaneo de la red (bajo el principio de diversidad) de manera que permita conocer el mayor número de señales dirigidas

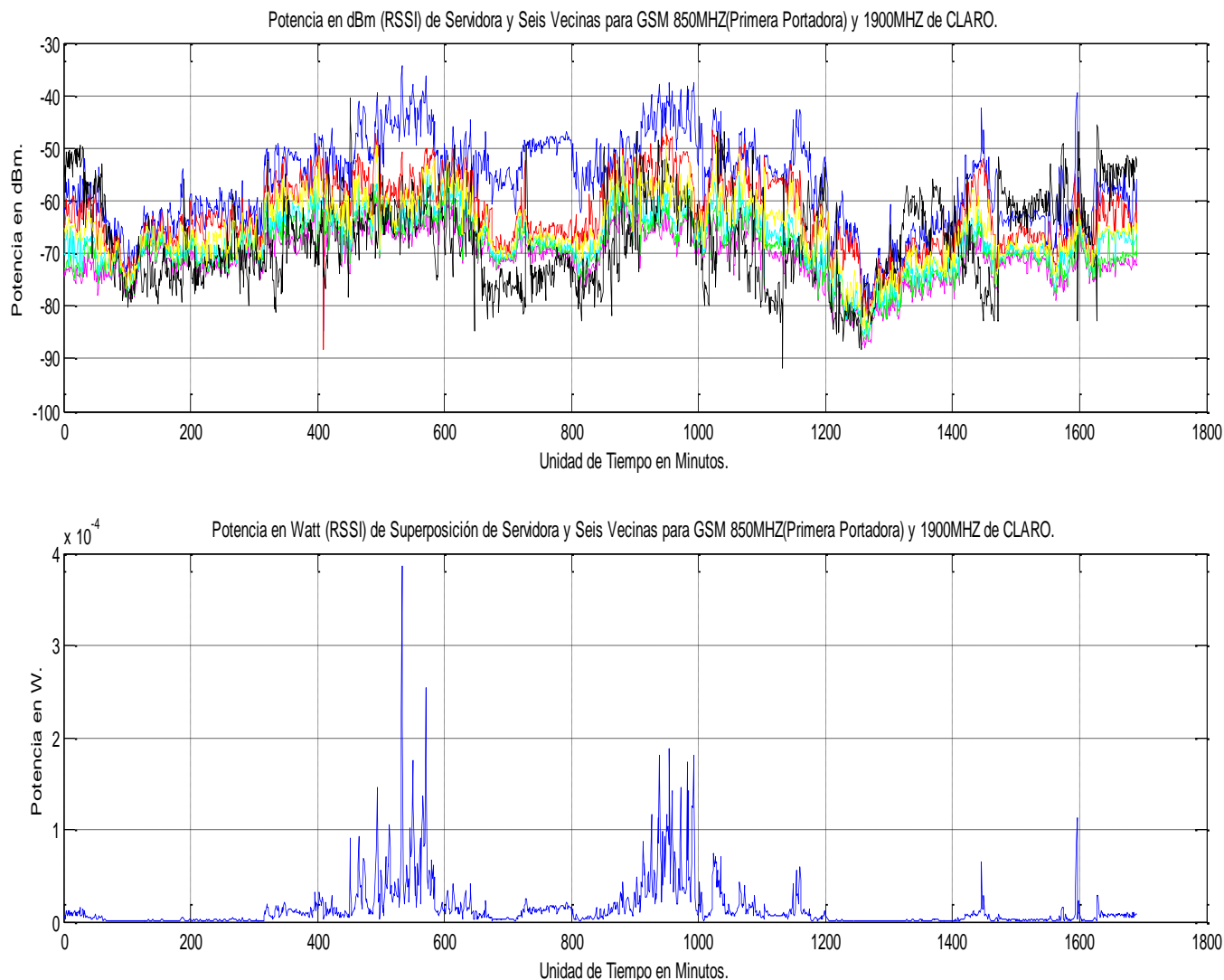
<sup>32</sup> Ver Inciso 7. De la recomendación UIT-T K83, "Método de Medición Selectiva".



hacia un móvil que está siendo atendido por una servidora, lo cual permita realizar una evaluación de RNI más estricta (Ver Anexo E).

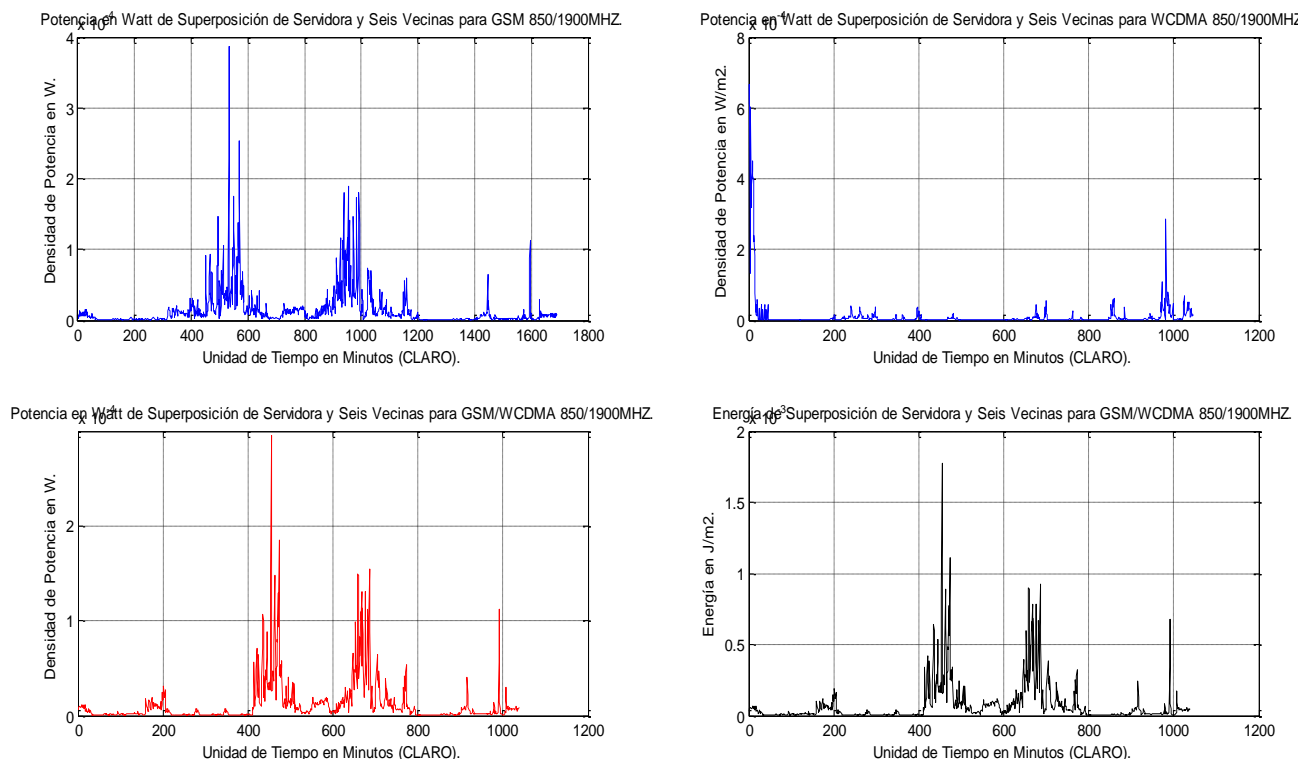
*Presentación de Resultados Obtenidos Mediante Mediciones.*

**Presentación de Resultados Obtenidos Mediante Mediciones No Escaneadas.**

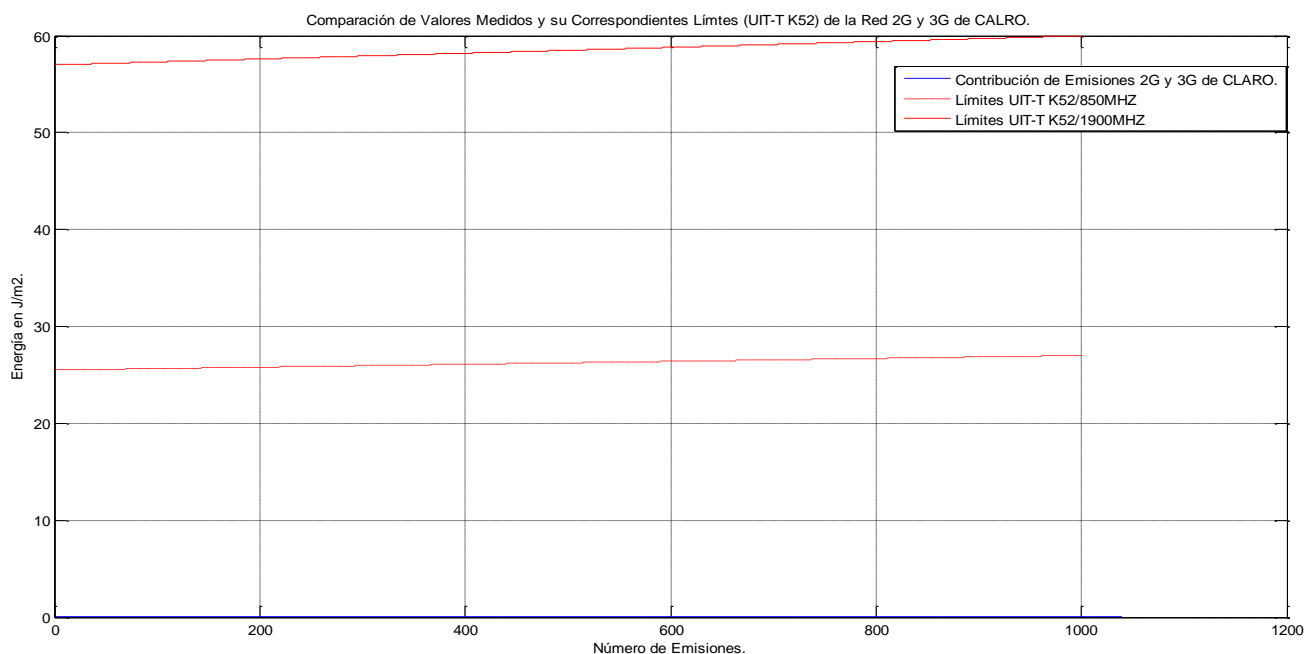


**Figura 4.52 Potencia en dBm de Servidoras y Vecinas y su Sumatoria (CLARO NICARAGUA.)**





**Figura 4.53 Potencia en W/m2 de GSM, WCDMA y Combinación GSM y WCDMA en W/m2 y J/m2.**



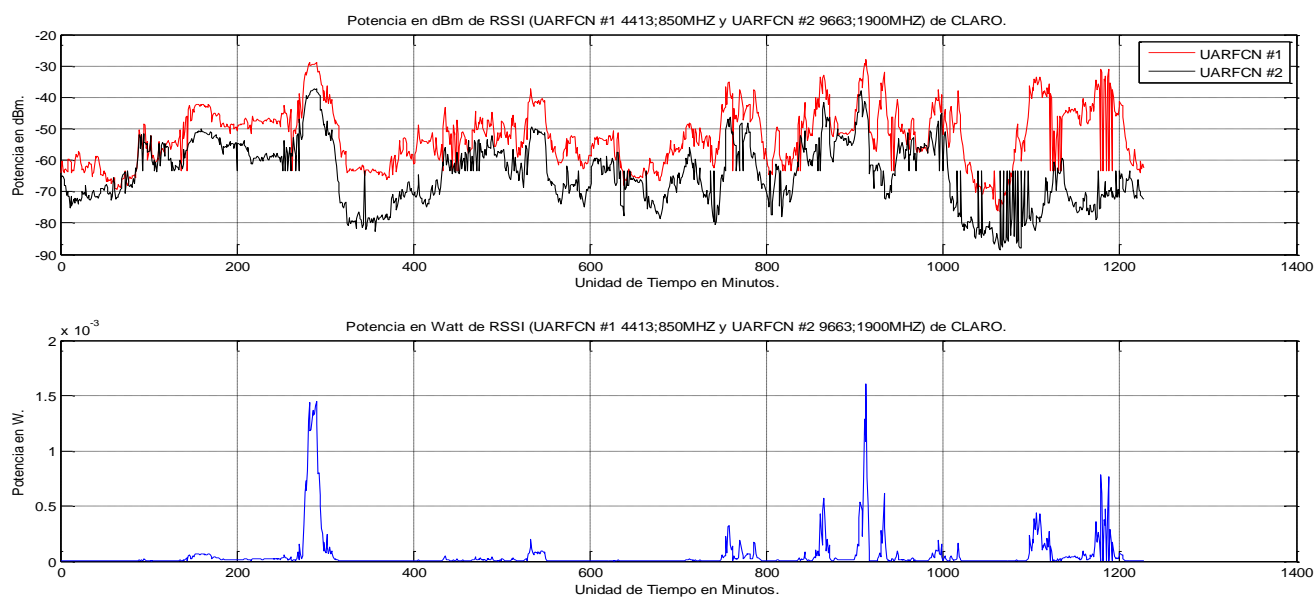
*“Los Niveles de Emisiones de CLARO Están Bajo la Conformidad de UIT-T K52 / ICNIRP.”*

**Figura 4.54 Comparación con Límites UIT-T K52. (CLARO NICARAGUA.)**

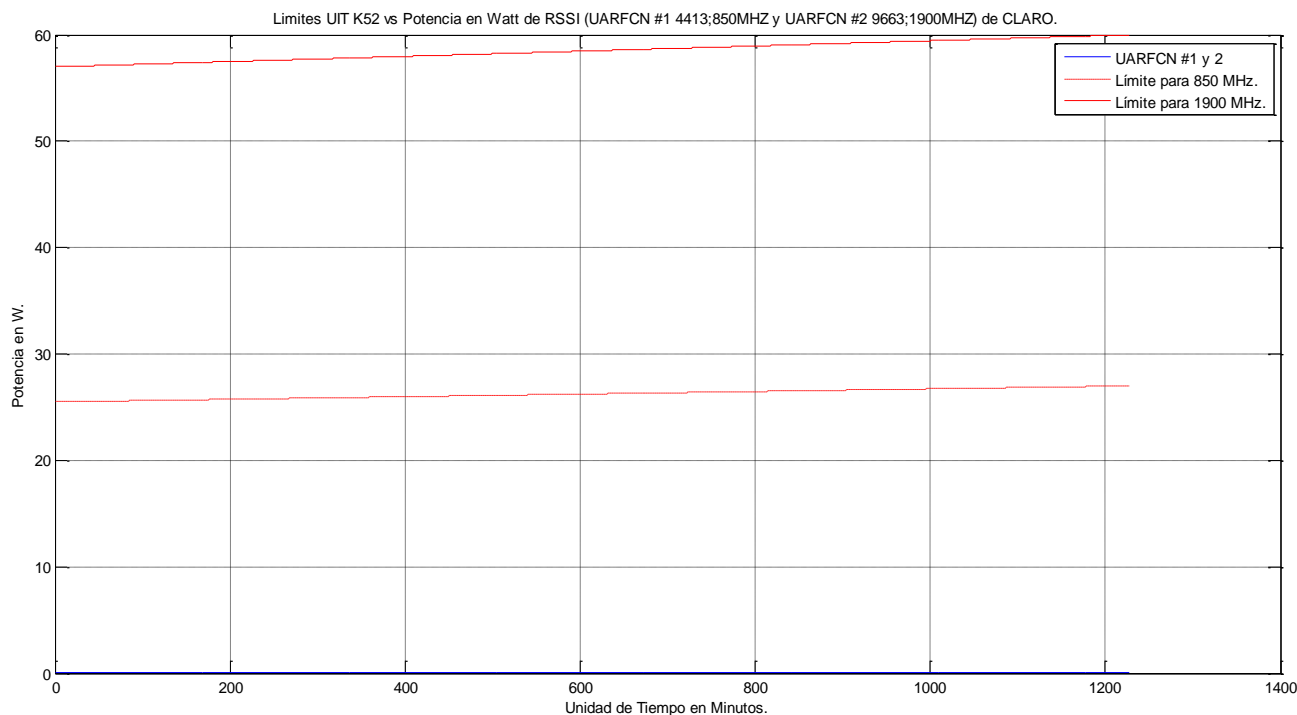


Para CLARO el procesamiento de los datos se consideró el mismo procedimiento que para YOTA, con la diferencia que se realizaron mediciones para GSM, WCDMA y una combinadas para ambas (Ver figura 4.49 y 4.52). Como resultado los niveles de emisión de la red 2G y 3G de CLARO están muy por debajo de los límites establecidos por la UIT-K52, 62, 61 y 83 (Ver figura 4.53) considerando la evaluación de múltiples fuentes simultáneas.

#### Presentación de Resultados Obtenidos Mediante Mediciones Escaneadas.



**Figura 4.55 Potencia en dBm de RSSI para UARFCN #1 (850MHZ) y UARFCN #2 (1900MHZ) de CLARO.**



**Figura 4.56 Límites UIT-K52 vs Potencia en Watt de RSCP para UARFCN #1 (850MHZ) y UARFCN #2 (1900MHZ) de CLARO.**

## 5 Conclusiones.

Este capítulo presenta las conclusiones de la tesis de manera general y discute en torno a los resultados presentados en los capítulos anteriores. La tesis está dedicada al análisis de las radiaciones no-ionizantes (RNI) en base a los estudios realizados por modelación, simulación, y mediciones de campo considerando su estado del arte. En esta tesis analizamos la exposición a los campos electromagnéticos generados por los elementos radiantes de las antenas de telefonía celular y el móvil que han generado una alta preocupación en la población sobre los posibles efectos nocivos en la salud, aún cuando los estudios e investigaciones realizadas por las principales agencias de investigación incluyendo a la misma OMS son no concluyentes y en el caso de Nicaragua un agravante, es que no hay regulación de las RNI relacionada a telefonía celular. El temor y la incertidumbre va en aumento por la falta de información y la inexistencia de un marco regulatorio que controle las emisiones electromagnéticas, factor desfavorable para la expansión y el despliegue de infraestructura de redes celulares como GSM, UMTS y LTE. Como parte del trabajo en esta tesis se realizaron simulaciones usando MATLAB® 7.0 y ATOLL™ de FORSK basados en las recomendaciones UIT-T K.52, 61, 62 y 83, de forma que los resultados simulados se compararon con los límites correspondientes en función de la frecuencia de



operación. Este generó resultados de energía absorbidas no mayor del 14% y tasa de absorción específica no mayor del 6% considerando un caso extremo, evidenciando a través de la simulación que para el caso exclusivo de la emisión electromagnética proveniente de las antenas de telefonía celular en función del tiempo de exposición los niveles de energía absorbida por una persona es muy mínima lo que también por la alta frecuencia de operación de estos sistemas los efectos son meramente térmicos y no sobrepasan un grado centígrado. La simulación realizada con ATOLL permitió evaluar los niveles de potencia en función de la cobertura, lo que concluye para las redes de YOTA Y CLARO que sus emplazamientos están bajo el cumplimiento de los límites de exposición simultánea, para el caso de MOVISTAR no se pudo dar ningún tipo de resultado, debido a que no tuvimos ningún tipo de apoyo por parte de esta operadora para realizar las evaluaciones correspondientes.

Según los resultados de las mediciones realizadas tanto YOTA como CLARO demuestran que las emisiones electromagnéticas de las redes de ambas operadoras están ampliamente bajo los límites de la ICNIRP 98 y UIT-T K52, cumpliendo de manera satisfactoria dichas disposiciones. Como se comprobó a través de las mediciones de campo la energía transmitida por las antenas de telefonía celular son muy mínimas por debajo del 5% y 6.8% tanto para SAR media en todo el cuerpo, así como energía absorbida, como para generar efectos adversos y nocivos en la salud humana, sin embargo la falta de evidencias concretas y puestas en manifiesto por las organizaciones como OMS, UIT entre otras, da un aviso de que en el futuro el problema no radica solamente en función de las RNI generadas por las redes celulares sino en uno más grande, que sería la contribución de todas las fuentes de radiaciones no-ionizantes a la que una persona en un área urbana como la ciudad de Managua, densamente poblada de personas y de servicios de telecomunicaciones que usan la radiofrecuencia así como sistemas eléctricos de transmisión y la propia energía solar podrían generar en un futuro algún DAÑO EN LA SALUD HUMANA, lo que implica realizar múltiples investigaciones de carácter constante en el tiempo. En vista de la no comprobación de efectos nocivos de los quipos de las redes celulares sobre la salud humana por parte de los estudios especializados de las agencias internacionales certificadas en el tema y por el desarrollo de las telecomunicaciones en todas las escalas en Nicaragua, lo mejor es tomar medidas de prevención a través de la regulación y un amplio sistema de información que permita orientar y concientizar a la población en general.

La mayoría de los países que contemplan una normativa técnica de control de las RNI se fundamentan principalmente en las recomendaciones de la ICNIRP 98 y las disposiciones de la FCC, esta última utilizada con mucha frecuencia para el caso del SAR. En base a lo anteriormente expresado recomendamos la adopción de las recomendaciones ICNIRP para la elaboración de la normativa técnica de control de las RNI producidas por los servicios de telecomunicaciones para Nicaragua ya que dichas recomendaciones tienen mayor soporte científico y por su aceptación a nivel mundial.



## 6 Trabajos Futuros y Recomendaciones.

Para trabajos futuros es recomendable realizar más mediciones de campo (Drive Test) no solo considerando los niveles de potencia en dBm como fue para el caso de este trabajo en particular sino otras variables de evaluación formalmente y oficialmente aceptadas tales como la intensidad del campo eléctrico (V/m) y la intensidad del campo magnético (A/m), considerando un mayor entorno urbano o áreas de evaluación para dichas mediciones.

Una de las variables más difíciles de medir es la tasa de absorción específica SAR, para el caso de este trabajo de investigación la medición fue indirectamente a través de ecuaciones dadas por la UIT-T K52 donde solo se necesitaba la intensidad de campo eléctrico derivada de la densidad de potencia, considerando únicamente la impedancia intrínseca del aire y una serie de variables tales como la conductividad del tejido corporal, la densidad del tejido corporal y la capacidad térmica del tejido corporal para medir el SAR media en todo el cuerpo que fue la única variable de SAR analizada en este estudio. Sin embargo sería interesante realizar evaluaciones considerando análisis de SAR en la cabeza y tronco, análisis de SAR en las extremidades y mediciones de densidad de corriente en la cabeza y tronco, de manera que los resultados expuestos en este trabajo sean llevados más allá de los mismos mediante los análisis recomendados anteriormente.

También es propicio realizar siempre bajo las recomendaciones de la UIT K52 y la ICNIRP, análisis de los niveles de emisión electromagnética de los sistemas de telecomunicaciones con diversos servicios por ejemplo la radio AM, FM TV, Redes Celulares y hasta las propias Redes de Alta tensión y considerar los niveles de emisión en entornos urbanos densamente poblados; de forma que pueda compararse los niveles de emisión electromagnética de cada uno de los sistemas a considerar con respecto a sus límites UIT K52/ICNIRP correspondientes, además de ver la contribución total en cuanto a las RNI y como esto podría generar una repercusión en la salud humana.

Se recomienda considerar la adopción de las recomendaciones ICNIRP y de la UIT K52, 61, 62 y 83 para la elaboración de la normativa técnica de control de las RNI producidas por los servicios de telecomunicaciones para Nicaragua. Adicionalmente recomendamos tomar medidas de prevención a través de la regulación y un amplio sistema de información (considerando la UIT-T K83) que permita orientar y concientizar a la población en general.



## **7 Bibliografía**

- [1] TELCOR, **Instituto Nicaragüense de Telecomunicaciones y Correos**. Usuarios del Servicio Celular en Nicaragua. Managua, [www.telcor.gob.ni](http://www.telcor.gob.ni), 2009.
- [2] IEEE, **Institute of Electrical and Electronics Engineers**. Standard for safety levels with respect to human. New York : s.n., 2006.
- [3] ICNIRP, **International Commission on Non-Ionizing Radiation**. Guidelines for limiting exposure to time-varying Electric, magnetic and electromagnetic fields. 1998. 74(4): 494-522.
- [4] WHO, **World Health Organization**. Electromagnetic Fields. Geneva : <http://www.who.int/peh-emf/en/>, 2008.
- [5] ARPASA, **Australian Radiation Protection and Nuclear Safety**. Maximum exposure levels to radiofrequency fields. Victoria : ARPASA, 2002.
- [6] (SSK), **Strahlenschutzkommission**. German mobile telecom. Bonn : SSK, 2008.
- [7] EC, **European Commission**. Risk evaluation of potential environmental hazards from low frequency electromagnetic fields exposure using sensitive in vitro methods. Brussels : European Commission., 2004.
- [8] HCN, **Health Council of the Netherlands**. GSM, Base Stations. The Hague : HCN, 2000. Publication N° 2000/16E.
- [9] HCN, **Netherlands Health Council of the Netherlands**. Mobile telephones: an evaluations of health effects. The Hague : HCN, 2002. Publication N° 2002/01E.
- [10] IEGMP, **Independent Expert Group on Mobile Phones**. Mobile phones and health. Report of an independent group on mobile phones. Chilton : NRPB, 2000.
- [11] NRPB, **National Radiological Protection Board**. Health effects from radiofrequency electromagnetic fields: Report of an independent advisory group on no-ionizing radiation. Chilton : NRPB, 2003.
- [12] McKinlay AF, **Allen SG, Cox R, Dimbylow PJ, Mann SM**. Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0-300 GHz). Chilton : NRPB, 2004.
- [13] Krewski D, **Byus CV, Glickman BW, Habash RW**. recent advances in research on radiofrequency fields and health (2001-2003). Ottawa : Royal Society of anada., 2004.
- [14] IARC, **International Agency for Research on Cancer**. Results update international stady. Lyon France : s.n., 2008.
- [15] Lennart Hardell, Michael Carlberg and Kjell Hansson Mild. **Methodological Aspects of Epidemiological Studies on the Use of Mobile Phones and their Association with Brain Tumors**. Umea Sweden : s.n., 2008.



- [16] KJ., **Rothman**. Epidemiological evidence on health of cellular telephone. *Lancet* : s.n., 2000.
- [17] M. Kundi. **The controversy about a possible relationship between mobile phone use and cancer**. 2009.
- [18] UIT, **Unión Internacional de Telecomunicaciones**. Indicadores de las Telecomunicaciones en las Américas. s.l. : <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>.
- [19] UIT, **Unión Internacional de Telecomunicaciones**. Indicador de las Telecomunicaciones en las Américas. s.l. : <http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/>, 2012.
- [20] TELCOR, **Instituto Nicaraguense de Telecomunicaciones y Correos**. Reglamento del Servicio de Radiodifusión Televisiva. Managua : s.n., 1997.
- [21] TELCOR, **Instituto Nicaraguense de Telecomunicaciones y Correos**. Reglamento de Uso del Espectro Radioeléctrico y de los Servicios de Radiocomunicaciones. Managua : s.n., 1997.
- [22] TELCOR, **Instituto Nicaraguense de Telecomunicaciones y Correos**. Reglamento del Servicio de Telefonía Celular. Managua : s.n., 1998.
- [23] TELCOR, **Instituto Nicaraguense de Telecomunicaciones y Correos**. Norma para la Instalación y Operación de Estaciones Destinadas al Servicio Móvil de Enlaces Troncalizados. Managua. : s.n., 2005.
- [24] TELCOR, **Instituto de Telecomunicaciones y Correos**. Norma para la Instalación y Operación de Estaciones Destinadas al Servicio de Radiolocalización Móvil de Personas. Managua. : s.n., 2005.
- [25] Nicaragua, **Presidencia de la República**. Reglamento de la Ley General de Salud. Managua : s.n., 2003.
- [26] Nicaragua, **La Asamblea Nacional de la República**. Ley 423, Ley General de la Salud. Managua. : s.n., 2002.
- [27] Nicaragua, **Comisión Nacional de Energía Atómica**. Reglamento Técnico de Protección Contra las Radiaciones Ionizantes de la República de Nicaragua. Managua : s.n., 2011.
- [28] WHO, **Organization World Health**. Campos Electromagnetico. Ginebra : <http://www.who.int/peh-emf/research/es/>, 2012.
- [29] CITEI, **Comision Interamericana de Telecomunicaciones**. Aspectos Tecnicos y Regulatorios Relativos a los Efectos de las Radiaciones Electromagneticas No-Ionizantes. Ottawa : CITEI, 2009.
- [30] UIT, **Union Internacional de Telecomunicaciones**. UIT-T K.52; Orientación Sobre el Cumplimiento de los Límites de Exposición de las Personas a los Campos Electromagnéticos. s.l. : UIT, 2000.
- [31] UIT, **Union Internacional de Telecomunicaciones**. UIT-T K.61; Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas..s.l. : UIT, 2003.
- [32] ITU, **International Telecommunication Union**. UIT-T K.62; System level radiated emissions



*compliance using mathematical modelling. s.l. : UIT, 2004.*

[33] **UIT, Union Internacional de Telecomunicaciones.**UIT-T K.83; *Supervisión de los niveles de intensidad del campo electromagnético. s.l. : UIT, 2011.*

[34] Oscar Martinez; Marvin Arias; **Radiaciones No-Ionizantes y la Salud Desde la Perspectiva de la Sociedad Nicaragüen** Universidad Nacional de Ingeniería, Managua Nicaragua,, 2012.

[35] Josep Colon Icano; Martin Wrulich, Markus Rupp ; **System Level Simulation of LTE Network.**Vienna Univerty of Technology, Austria, 2010.

[36] Jung-Huon Noh; Seong-Jun Oh; **System-Level Simulation of LTE-LTE-A for IMT-Advanced Systems.**Korea University, Seoul Korea, 2011..

[37] Wout Joseph; Leen Verloock; francis Goeminne; Gunter Vermeere and LucMartens; **Assessment of General Public Exposure to LTE and RF Sources Present in an Urban Environment.**Ghent Univerty/IBBT, Ghent Belgium, 2010.







# ANEXOS.



# ANEXO A.

(Estándares Internacionales  
Relacionados a las RNI para Protección  
de la Salud.)



## **Recomendación de la Organización Mundial para la Salud, (OMS).**

Con el objeto de asegurar que la exposición humana a los campos electromagnéticos no tenga efectos perjudiciales para la salud, que los equipos generadores de esos campos sean inocuos para la salud, se han adoptado diversas directrices y normas internacionales. Esas normas se elaboran después que grupos de trabajo de científicos calificados, que buscan pruebas de la repetición sistemática de efectos perjudiciales para la salud, hayan analizado todos los estudios y las publicaciones científicas con los resultados de institutos de investigación reconocidos. La OMS<sup>33</sup> basa sus recomendaciones en los estudios de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). La OMS cuenta, entre sus varios emprendimientos, con el Proyecto EMF Internacional, que tiene a su cargo aunar los esfuerzos de las instituciones científicas y centros de investigación claves a nivel internacional, para identificar y llenar los huecos que presenta el conocimiento científico en cuanto a los riesgos para la salud debidos a la exposición a las ondas electromagnéticas. Sin embargo veamos la declaración particular de la OMS al respecto[28]:

*“Se han realizado abundantes investigaciones sobre los posibles efectos sobre la salud de la exposición a radiaciones de frecuencias correspondientes a muy diversas partes del espectro. Todas las evaluaciones realizadas hasta la fecha han indicado que las exposiciones a niveles inferiores a los límites recomendados en las directrices sobre CEM de la ICNIRP (1998), que abarcan el intervalo completo de frecuencias, de 0 a 300 GHz, no producen ningún efecto perjudicial para la salud conocido. No obstante, aún hay lagunas de conocimiento que se deben abordar para poder mejorar las evaluaciones sobre los riesgos para la salud”.*

## **Comisión Mundial para la Protección Contra las Radiaciones No-Ionizantes, (ICNIRP, por sus siglas en ingles).**

La ICNIRP es una organización científica independiente con el mandato de la OMS para proveer pautas y recomendaciones sobre los peligros para la salud de la exposición a las RNI. En particular con respecto a la telefonía celular, la información científica producida hasta el momento por la ICNIRP, no indica la necesidad de algún tipo de precauciones que se deban sumar a las recomendaciones de la OMS<sup>34</sup> para el uso de teléfonos móviles, o la instalación de las antenas que permiten dar cobertura a este servicio radioeléctrico. Sin embargo brinda las pautas necesarias para hacer evaluaciones de las RNI.

<sup>33</sup> Actualmente la OMS no tiene una postura definida en cuanto a que los Campos Electromagnéticos provenientes de los sistemas de telecomunicaciones perjudiquen o no la salud humana sin embargo la OMS ha desarrollado un proyecto llamado Proyecto CEM; <http://www.who.int/peh-emf/es/>

<sup>34</sup> OMS; Organización Mundial para la Salud; Estableciendo un Diálogo Sobre los Riesgos de los Campos Electromagnéticos. Publicada por el INICTEL de Perú.



### **Recomendación de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, (CITEL).**

Este organismo, dependiente de la Organización de los Estados Americanos (OEA)<sup>35</sup> ha emitido la recomendación CCP.II/REC.15 (VI-05)[29]. La misma fue formulada a través de su Grupo de Trabajo Relativo a los Aspectos Técnicos y Regulatorios de los efectos de las Radiaciones Electromagnéticas No Ionizantes, y básicamente aconseja ajustarse a las recomendaciones de la OMS, UIT y la ICNIRP.

### **Recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, (UIT).**

A través de su Comisión de Estudio 5 - CE5 (Protección Contra los Efectos Electromagnéticos del Entorno), se han formulado las siguientes recomendaciones: K52: Orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición a los campos electromagnéticos. K61: Directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos, para comprobar que las instalaciones de Telecomunicaciones cumplen con los límites de exposición de las personas, así como la K62: esta normativa permite analizar el nivel de cumplimiento de las emisiones electromagnéticas de los sistemas de telefonía celular utilizando modelos matemáticos y la K63, esta normativa analiza lo que es la compatibilidad electromagnética de los equipos, para nuestro caso particular será utilizada para analizar compatibilidad electromagnética con marca pasos. Es importante destacar que la OMS basa sus recomendaciones en la ICNIRP al mismo tiempo organismo como la CITEL recomiendan ajustarse a las recomendaciones de la UIT y estas a su vez están en base a lo expuesto por la ICNIRP.

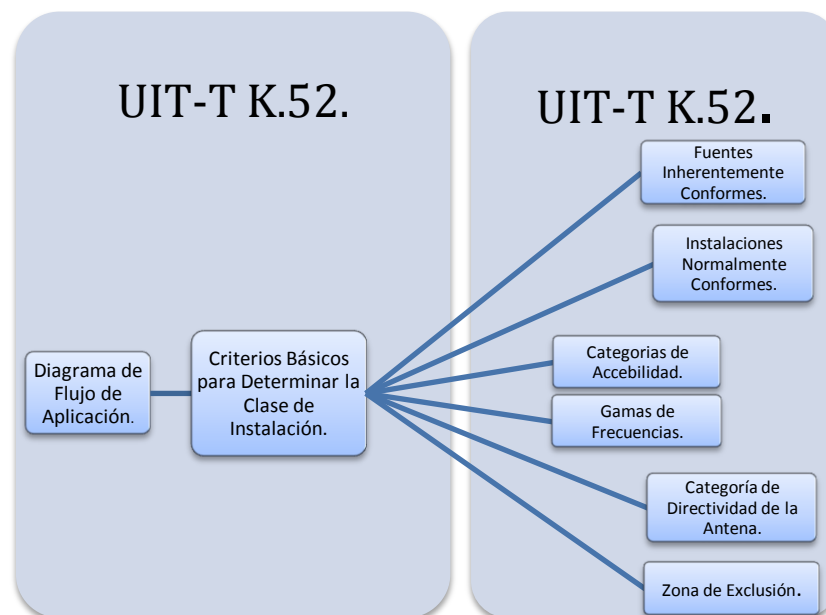
### **UIT-T K.52.**

Esta recomendación está basada en la orientación sobre el cumplimiento de los límites de exposición de las personas a los campos electromagnéticos. Es importante mencionar que la recomendación UIT-T K.52[30], está diseñada para la evaluación del cumplimiento de los límites a la exposición de los campos electromagnéticos para toda clase de instalación de telecomunicaciones pero para el fin de este estudio se tomará en consideración todo lo relacionado a los rangos de frecuencia que operen todos los sistemas de servicio de telefonía celular. Dicha recomendación tiene como finalidad: *“Facilitar el cumplimiento de las instalaciones de telecomunicación de los límites de seguridad cuando existe exposición de las personas a campos electromagnéticos (ELF). Presenta orientación general, un método de cálculo y un*

<sup>35</sup>Inter-American Telecommunication Commission Organization of American States; International Telecommunication Union; Pan American Health Organization; TELEHEALTH IN THE AMERICAS; ISBN 0-8270-4614-6; <https://citel.oas.org/es/Paginas/Publications.aspx>; Evidencia de los beneficios de las TIC, contradictorio a los posibles efectos nocivos en la salud.



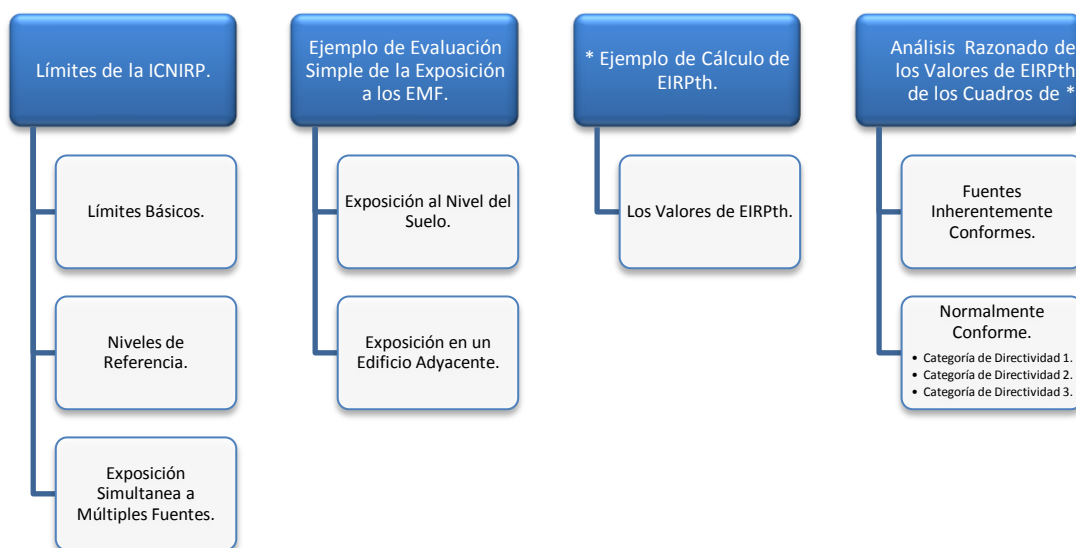
*procedimiento de evaluación de las instalaciones. El procedimiento de evaluación basado en los límites de seguridad proporcionados por la ICNIRP<sup>36</sup>. Con la recomendación UIT-T K.52<sup>36</sup> podremos realizar análisis para múltiples fuentes y frecuencias, cálculo de duración de exposición, conformidad con los límites de seguridad, determinación de la necesidad de evaluación en el equipo de telecomunicaciones como emisores intencionales y no intencionales, procedimientos de evaluación de la exposición al EMF, procedimiento de evaluación del nivel de exposición como el esquema de clasificación de la instalación y el procedimiento para determinar la clase de instalación. Dentro de las técnicas de evaluación de EMF se considerarán los métodos de cálculo de la región de campo lejano. También es de importancia los procedimientos de medición, las técnicas de reducción donde se destacan las zonas, ocupacionales y de rebasamiento. De forma más explícita se considerarán:*



**Figura 3.1 Aspectos Importantes a Considerar para la UIT-T K.52.**

Para esto será necesario retomar los criterios expuestos en cada uno de los apéndices de la recomendación los cuales ayudan y soportan los procedimientos de evaluación de los EMF.

<sup>36</sup> Aquí un trabajo que tomó como base científica la UIT-T K.52. Universidad Industrial de Santander; José de Jesús Rugeles; Análisis de los Límites de Exposición Humana a Campos Electromagnéticos de Acuerdo a la Norma UIT-T K.52 entre 10Khz y 3 Ghz en Areas Urbanas; Cucaramanga Colombia, Revista Ingeniería e Investigación VOL. 27 N°3, Dic. 2007 (149-158).



**Figura 3.2 Criterios Importantes para la Evaluación de Campos Electromagnéticos.**

### **UIT-T K.61.**

Esta recomendación permite conocer las directrices sobre la medición y la predicción numérica de los campos electromagnéticos para comprobar que las instalaciones de telecomunicaciones cumplen los límites de exposición de las personas. Esta recomendación ayuda a los operadores de telecomunicaciones a verificar el cumplimiento de las normas de exposición de las personas establecidas por las autoridades locales o nacionales. Esta recomendación proporciona orientaciones sobre los métodos de medición que pueden utilizarse para realizar una evaluación de dicho cumplimiento. También proporciona directrices sobre la selección de métodos numéricos adecuados para predecir la exposición de las personas en varias situaciones.

Para este trabajo, será de gran importancia el usar esta recomendación para determinar cómo realizar las mediciones de campo y como procesar los resultados, bajo la figura de las mejores prácticas en este caso bajo lo que la UIT recomienda mediante la UIT-T k.61 [31]. También se utilizará esta recomendación para realizar predicción numérica de los EMF. Los aspectos más importantes a considerar en la figura.



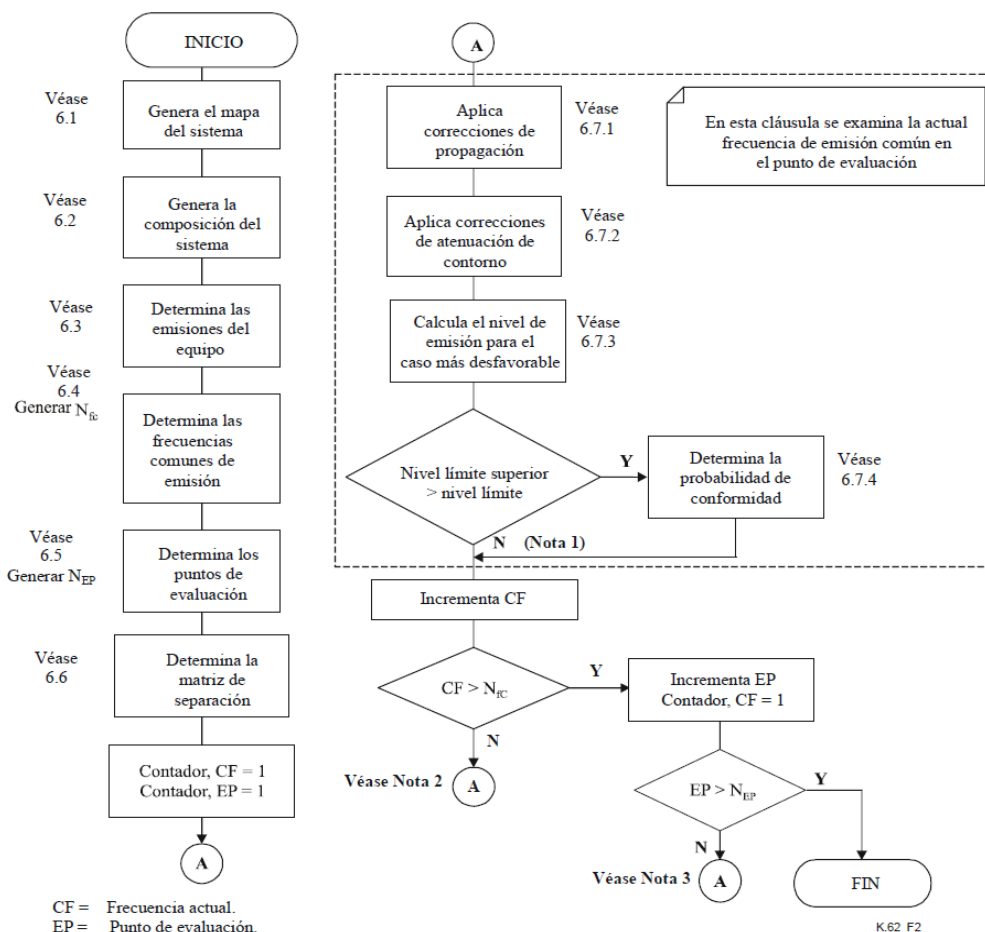
**Figura 3.3 Aspectos Importantes a Considerar para la UIT-T K.61.**

### **UIT-T K.62.**

Esta recomendación es para la evaluación de la conformidad de las emisiones radiadas a nivel de sistema mediante modelos matemáticos (Evaluación de las contribuciones de emisiones electromagnéticas de N emplazamientos para un punto dentro de una determinada área de cobertura). En esta recomendación se describe un método que consiste en aplicar un procedimiento estadístico a las variables básicas conocidas por el operador, lo que permite describir el nivel de emisiones del sistema en la forma de distribuciones de probabilidad y de probabilidad acumulada. Se propone que para la conformidad se utilice un nivel de aceptación de 80%.

Para este trabajo llamaremos Sistema General a la red completa de cada operador de telefonía celular, pero para realizar un estudio basado en el método científico será necesario crear un diseño experimental luego conducir el experimento para después obtener los resultados. El método está basado en el algoritmo propuesto por la UIT-T K.62 [32] (lo que vendría hacer el diseño experimental pues definen el número de tareas a realizarse mediante el método como lo es el algoritmo de evaluación de conformidad de la UIT-T K.62). La conducción del experimento estaría a cargo de las particulares del método, por ejemplo, se considerará como sistema al que esté definido en el mapa del sistema el cual será definido por la ruta crítica de la red el que estará en función del mayor tráfico en horas críticas en la ciudad de Managua, dato que será producto del caso de estudio el cual es el capítulo IV de este trabajo; dichos datos son proporcionados por las empresas operadoras de telefonía móvil. Para conocer los detalles consultar el documento de la UIT-T K.62.





**Figura 3.4 Aspectos Importantes a Considerar para la UIT-T K.62.**

### UIT-T K.83.

Esta recomendación es considerada en este trabajo por el cálculo de la Tasa de Exposición Total (TER)[33] que es el valor máximo de la suma de tasas de exposición del equipo sometido a prueba y todas las fuentes pertinentes en la gama de frecuencia específicamente para redes celulares. Esto con el propósito de realizar una evaluación a la exposición de campos electromagnéticos en función del tiempo.



# ANEXO B.

(M-Files Desarrollados en MATLAB 7.0  
R12)



**1. Ejemplo Para GSM, GPRS & EDGE, para el resto de estándares se realizan ajustes de bases de datos de antenas, frecuencias de bajadas por banda. Este M-FILE solo es para 1 Emplazamiento.**

```
function [S_total,S,p2]= radiacionCDMA2000()
clear, clc
Went=input('Introduzca la potencia de transmisión (W): ');
q=input('Introduzca el radio de cobertura: ');
n=input('Introduzca el número de radio transmisores: ');
N=input('Introduzca el número de sectores: ');
h=input('Introduzca la alturas de las antenas (m): ');
h2=input('Introduzca la altura promedio de una persona: ');
a=input('Introduzca la banda de operacion (MHZ): ');
T=input('Introduzca el Tilt de la Antena (grados): ');
G=input('Introduzca la Ganancia de la Antena (dBi): ');
B=input('Introduzca el beamwidth de la Antena (grados): ');
Anzahl=input('Introduzca el numero de pasos del camino aleatorio: ');
W=input('Introduzca el cuadro de canales downlink (MHZ): ');
k=input('Introduzca el numero de Repeticiones del experimento: ');
%ymax=input('Introduzca el axis y: ');
%xmin=input('Introduzca el axis xm: ');
%ymin=input('Introduzca el axis ym: ');
EIRPmed=(10*log10(Went)+G));
EIRP=10^(EIRPmed/10);
if EIRP<2;
    disp('Este Emplazamiento es Inherentemente Conforme.')

EIRP=10^(EIRPmed/10)

    else EIRP>2;
        disp('Se Realizó Evaluación, Normalmente Conforme para este
Emplazamiento por que es "NO" Inherentemente Conforme.')
        EIRP=10^(EIRPmed/10)
        p=zeros(1,k);
        p1=zeros(1,k);
        p4=zeros(1,k);
        p5=zeros(1,k);
        for j=1:k
            %%% ANTENAS GSM
            rho2500WiMax101865=antena2500WiMax101865();
            %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
            %%%
            rho1900WCDMA81762=antena1900WCDMA81762();
            rho850WCDMA9517166=antena850WCDMA9517166();
            %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
            rho850GSM517266=antena850GSM517266();
            rho1900GSM54174262=antena1900GSM54174262();
            %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
            %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

            if a==2500;
                if G==18;
```



```
        if T==10;
            if B==65;
b=rho2500WiMax101865;
            end
        end
    end
end
    if a==1900;
        if G==17;
            if T==8;
                if B==62;
b=rho1900WCDMA81762;
                end
            end
        end
    end
    if a==850;
        if G==17.1;
            if T==9.5;
                if B==66;
b=rho850WCDMA9517166;
                end
            end
        end
    end
    if a==850;
        if G==17.2;
            if T==5;
                if B==66;
b=rho850GSM517266;
                end
            end
        end
    end
    if a==1900;
        if G==17.4;
            if T==4;
                if B==62;
b=rho1900GSMS4174262;
                end
            end
        end
    end

r=0.1:q;
r=r';
close all; %Cerramos todas las figuras
Gt=zeros(N,361); %Declaramos la variable Gt con N*361 ceros
THETA=2*pi*(0:360)/360;
rho2=b-min(b);
clf;
figure(1);
hold all
%for i=1:N
```



```
%THETA2=(THETA+i*360/N);
%polar(THETA+i*2*pi/N,rho2')
%end
hold off
grid
c=([0 0]);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
X=r*cos(THETA)+ c(1); %Valores de X para pasar de polar a rectangular
Y=r*sin(THETA)+ c(2); %Valores de Y para pasar de polar a rectangular
EIRPdb=zeros(N,361); %Declaramos EIRPdb con N*361 ceros
EIRP_W=zeros(N,361); %Declaramos EIRP_W con N*361 ceros
S=zeros(size(r,1),361,N); %Declaramos S con el tamaño de r por 361 por N
ceros
S_total=zeros(size(r,1),361); %Declaramos S_total con el tamaño de r por
361 ceros

for i=1:N
    Gt(i,:)=circshift(b,-i*360/N); %Obtiene los valores de rho, los rota
    120 grados y los almacena en Gt
    Wentdb =10*log10(n*N*Went); %Potencia de entrada del transmisor en DB.
    EIRPdb(i,:)=Wentdb+Gt(i,:); %Potencia radiada isotrópica equivalente en
    DB.
    EIRP_W(i,:)=10.^(EIRPdb(i,:)/10); %Potencia radiada isotrópica
    equivalente en W.
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    %%%
    hprima=h-h2; %h es altura de la antena, hprima=altura de la Ax menos
    estatura máxima humana (2m)
    theta=atan(hprima./r); %theta es el ángulo con respecto a la altura de la
    antena
    f_theta=((cos((pi/2)*sin(theta))./cos(theta)).^2); %f_theta es
    S(:, :, i)=(((4/(2.56*pi)).*f_theta./(hprima^2+r.^2))*EIRP_W(i,:));
    %Guardamos la densidad de potencia de cada antena %S es la densidad de
    potencia a nivel del suelo (W/m)
    %figure(i+1); %En la figura i (ej. 1)
    %mesh(X,Y,S(:, :, i)); %graficamos el mesh de la densidad de potencia de i
    (ej. 1)
    S_total=S_total+S(:, :, i); %Sumamos las densidades de potencia de cada
    antena
end
%figure(i+2); %en la figura i+1 (ej. 2)
%figure(2);
mesh(X,Y,S_total); %graficamos la densidad de potencia total.

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

figure(2);
% default setting
if (margin < 4)
    Driftx = 0;
```



```
        Drifty = 0;
end
if (nargin < 2)
    %Anzahl = 2;
    Weite = 10;
end

clf;
axis square; axis equal;
hold on;
Position = zeros(2, Anzahl+1);
Position(1, 1) = 0; Position(2, 1) = 0;

% measure the elapsed time
%tic;
for x = 1:Anzahl
    % random value out of [0, 2pi] for the angle
    ZufallWinkel = 2*pi*rand(1);
    % random step length out of [0, weite]
    ZufallWeite = Weite*rand(1);
    Position(1, x+1) = round(Position(1,
x)+ZufallWeite*cos(ZufallWinkel))+Driftx;
    Position(2, x+1) = round(Position(2,
x)+ZufallWeite*sin(ZufallWinkel))+Drifty;
end;
%toc;
x = 1:Anzahl+1; y = 1:Anzahl+1;
% plotting the random walk
plot(Position(1,x), Position(2,y), 'k-');
hold off;
a=Position(1,x);
s=Position(2,y);
p2=zeros(1,Anzahl);
for i=1:Anzahl
    dm=sqrt(((a(1,i+1)-a(1,i)).^2)+ ((s(1,i+1)-s(1,i)).^2));
    p2(1,i)=dm;
end

figure(3);
plot(Position(1,x), Position(2,y), 'k-');
hold on
mesh(X,Y,S_total); %graficamos la densidad de potencia total.
%axis([xmin xmax ymin ymax])

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%fprintf('\nr\tTHETA\t') %Imprime el r y THETA
% for i=1:N %Para i desde 1 hasta N
%fprintf('S_d\t\t\t\t',i) %Imprime los rótulos de S de cada contribución
%end
%fprintf('S_total\n') %Imprime el rotulo Total
for i=1:Anzahl %Para i desde 1 hasta N
```





```
%fprintf('%d\t%d\t',x(1,i),y(1,i)) %Imprime los valores de a(i) y b(i)
%fprintf('\t%d',S(x(1,i),y(1,i),:)) %Imprime los valores de las N
contribuciones de i
%fprintf('\t%d\n',S_total(x(1,i),y(1,i))) %Imprime la densidad total de i
end
    % Velocidad de una persona adulta de edad avanzada es de 0.92m/s

    t=p2./0.92;
    i=1:Anzahl;
    c(i)=S_total(1,i);
E=(c(i)).*t;
E1=(c(i)).*p2;
T=sum(E);
    p(1,j)=T;
    p1(1,j)=mean(E);
    p4(1,j)=mean(E1);
    p5(1,j)=mean(t);
    S_total=[];

    figure(4);
    stairs(p,'r')
    hold on
    GSM900=824.040:893.970;
    GSM1800=1930:1990;
    G900=( (GSM900) ./200)*6;
    SM1800=( (GSM1800) ./200)*6;

switch W
    case 850
        stairs(G900)
    case 1900;
        stairs(SM1800)
    case 2500
        UMTSHSPA2100=2620:2650;
        SM1800=(( UMTSHSPA2100) ./200)*6;
        stairs(SM1800)
end

figure(5);
stairs(p)
grid

c21=mean(p);
c22=min(p);
c33=max(p);
c44=var(p);
per25 = prctile(p,25);
per50 = prctile(p,50);
per75 = prctile(p,75);
per100 = prctile(p,100);

figure(6);
```



```
hist(p)
grid
figure(7);
stem(0.25,per25)
hold on
stem(0.5,per50)
hold on
stem(0.75,per75)
hold on
stem(0.95,per100)
grid

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Calculo del SAR
figure(8);
switch W
case 850
    Sar=(0.999.*(p1).*754)./1125;
    stem(Sar)
    hold on
    SARMEAN=mean(Sar);
    stem(38,SARMEAN,'r')

case 1900;
    Sar=(0.999.*(p1).*754)./1125;
    stem(Sar)
    hold on
    SARMEAN=mean(Sar);
    stem(38,SARMEAN,'r')

case 2500
    Sar=(0.999.*(p1).*754)./1125;
    stem(Sar)
    hold on
    SARMEAN=mean(Sar);
    stem(38,SARMEAN,'r')

end
figure(10);
pot=10.*log10((p./p5)/1000);
stem(pot,'k')
hold on
potdBmmean=mean(pot);
stem(38,potdBmmean,'r')

figure(9);

stem(p5,'c')
hold on
potdBmmean=mean(p5);
stem(38,potdBmmean,'k')
```



```
end

end
w1=W;
sw=(w1*3.1416)/50)*(h-2)^2;
v1=(EIRP./sw);
v2=ones(1,n);
v=v1.*v2;
% SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
% s=suma_vec(v)
s=0; %inicialmente la suma vale 0
n = length(v); %la función length nos devuelve
%el número de elementos del vector
for i=1: n
s = s+ v(i);
end
if s<=1 && EIRP<2
    disp('Por lo Tanto no se Requieren Procedimientos de Evaluación.')
    sumaEIRPth=s
elseif s<=1 && EIRP>2
    disp('Este Emplazamiento es Normalmente Conforme.')
    sumaEIRPth=s
else s>1&& EIRP>2
    disp('Este Emplazamiento es Provisionalmente Conforme.')
end
end
```

## **2. Ejemplo Para bases de datos de antenas que es llamado como una función por el m-file anterior.**

```
function rho180017650=antenagsm180017650()
%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la
%antena en la variable rho.65deg 17dBi 0Tilt 1800MHz,Beamwidth=65;
%fmin=1710Mhz;Fmax=1900Mhz.

%(uplink)1755 - 1765;.....(Downlink) 1850 - 1855
%(uplink)1770 - 1780;.....(Downlink) 1865 - 1870
valores=[0 0
1 0
2 0
3 0
4 0.1
5 0.1
6 0.1
7 0.2
8 0.2
9 0.3
10 0.3
11 0.4
12 0.5
13 0.5
14 0.6
15 0.7
16 0.8
17 0.8
18 1
19 1.1
20 1.2
21 1.3
```



## *Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.*

22	1.4
23	1.6
24	1.7
25	1.8
26	2
27	2.1
28	2.3
29	2.4
30	2.6
31	2.8
32	2.9
33	3.1
34	3.3
35	3.5
36	3.7
37	3.9
38	4.1
39	4.3
40	4.5
41	4.8
42	5
43	5.2
44	5.5
45	5.7
46	6
47	6.2
48	6.5
49	6.7
50	7
51	7.2
52	7.5
53	7.8
54	8
55	8.3
56	8.6
57	8.9
58	9.2
59	9.4
60	9.7
61	10.1
62	10.3
63	10.6
64	10.9
65	11.2
66	11.5
67	11.8
68	12.1
69	12.4
70	12.7
71	12.9
72	13.2
73	13.5
74	13.8
75	14.1
76	14.3
77	14.6
78	15.2
79	15.5
80	15.8
81	16
82	16.3
83	16.6
84	16.8
85	17.1
86	17.3
87	17.6
88	17.8
89	18.1
90	18.3
91	18.5
92	18.8
93	19
94	19.2
95	19.4
96	19.6
97	19.8
98	20



## *Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.*

99 20.2  
100 20.4  
101 20.6  
102 20.8  
103 21  
104 21.1  
105 21.3  
106 21.4  
107 21.6  
108 21.7  
109 21.8  
110 22  
111 22  
112 22.2  
113 22.3  
114 22.4  
115 22.6  
116 22.7  
117 22.9  
118 23  
119 23.1  
120 23.2  
121 23.2  
122 23.4  
123 23.5  
124 23.6  
125 23.7  
126 23.8  
127 23.9  
128 24.1  
129 24.2  
130 24.4  
131 24.5  
132 24.6  
133 24.8  
134 24.9  
135 25.1  
136 25.1  
137 25.3  
138 25.4  
139 25.6  
140 25.7  
141 25.8  
142 26  
143 26.3  
144 26.5  
145 26.8  
146 26.8  
147 26.8  
148 26.9  
149 27.1  
150 27.2  
151 27.5  
152 27.9  
153 28.1  
154 28.5  
155 28.8  
156 29.1  
157 29.5  
158 29.7  
159 29.9  
160 30.1  
161 30.4  
162 30.7  
163 31  
164 31.3  
165 31.4  
166 31.4  
167 31.8  
168 31.8  
169 31.5  
170 31.4  
171 31.1  
172 30.9  
173 30.8  
174 30.7  
175 30.8



## *Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.*

176 30.5  
177 30.1  
178 29.9  
179 29.7  
180 29.5  
181 29.7  
182 29.7  
183 29.8  
184 29.7  
185 29.8  
186 29.8  
187 29.8  
188 29.8  
189 30  
190 30.3  
191 30.5  
192 30.7  
193 30.9  
194 30.9  
195 31.1  
196 31  
197 31.2  
198 31.3  
199 31.3  
200 31.4  
201 31.3  
202 31.3  
203 31.3  
204 31.1  
205 30.9  
206 30.5  
207 30.1  
208 29.9  
209 29.6  
210 29.1  
211 28.8  
212 28.5  
213 28  
214 27.7  
215 27.3  
216 27  
217 26.7  
218 26.4  
219 26  
220 25.7  
221 25.5  
222 25.2  
223 25  
224 24.8  
225 24.6  
226 24.4  
227 24.2  
228 24  
229 23.7  
230 23.6  
231 23.4  
232 23.3  
233 23.1  
234 22.9  
235 22.9  
236 22.7  
237 22.6  
238 22.4  
239 22.3  
240 22.2  
241 22.2  
242 22  
243 21.9  
244 21.9  
245 21.7  
246 21.6  
247 21.4  
248 21.3  
249 21.3  
250 21.2  
251 21  
252 20.9





## *Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.*

253 20.8  
254 20.6  
255 20.5  
256 20.4  
257 20.3  
258 20.1  
259 19.9  
260 19.8  
261 19.6  
262 19.4  
263 19.2  
264 19  
265 18.8  
266 18.6  
267 18.4  
268 18.2  
269 18  
270 17.7  
271 17.5  
272 17.3  
273 17  
274 16.8  
275 16.5  
276 16.3  
277 16.1  
278 15.8  
279 15.6  
280 15.3  
281 15  
282 14.8  
283 14.1  
284 13.9  
285 13.6  
286 13.3  
287 13  
288 12.8  
289 12.5  
290 12.2  
291 11.9  
292 11.7  
293 11.4  
294 11.1  
295 10.8  
296 10.6  
297 10.3  
298 10  
299 9.7  
300 9.4  
301 9.2  
302 8.9  
303 8.6  
304 8.3  
305 8.1  
306 7.8  
307 7.6  
308 7.3  
309 7.1  
310 6.8  
311 6.6  
312 6.3  
313 6.1  
314 5.8  
315 5.6  
316 5.4  
317 5.2  
318 4.9  
319 4.7  
320 4.5  
321 4.3  
322 4.1  
323 3.9  
324 3.7  
325 3.5  
326 3.3  
327 3.1  
328 2.9  
329 2.8



```
330 2.6
331 2.4
332 2.3
333 2.1
334 2
335 1.8
336 1.7
337 1.6
338 1.4
339 1.3
340 1.2
341 1.1
342 1
343 0.9
344 0.8
345 0.7
346 0.6
347 0.5
348 0.5
349 0.4
350 0.3
351 0.2
352 0.2
353 0.2
354 0.1
355 0.1
356 0.1
357 0.1
358 0
359 0
360 0.0];
rho180017650=17-valores(:,2);
```

### 3. Ejemplo Para Múltiples Fuentes Simultáneas.

```
function s = suma_vec ()
W=input('Introduzca la banda de frecuencia (MHZ): ');

B1800=21*[ 22.8251    19.4669    12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669
12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669    12.8502    24.6184    23.2876    1.4605
22.8251    19.4669    12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669    12.8502    24.6184
23.2876    1.4605    22.8251    19.4669    12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669
12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669    12.8502    24.6184    23.2876    1.4605
22.8251    19.4669    12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669    12.8502    24.6184
23.2876    1.4605    22.8251    19.4669    12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669
12.8502    24.6184    23.2876    1.4605    22.8251    19.4669    12.8502    24.6184];
z=377;
Bz1800=(B1800./1000).*z;% Campo electrico
D1800=1805:1880;
DD1800=1.375.*sqrt(D1800)*6;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
B900=21*[12.8570    23.9744    24.0139    23.7569    23.8449    12.8570    23.9744    24.0139    23.7569
23.8449    12.8570    23.9744    24.0139    23.7569    23.8449    12.8570    23.9744    24.0139    23.7569
23.8449    12.8570    23.9744    24.0139    23.7569    23.8449    12.8570];
z=377;
Bz900=(B900./1000).*z;% Campo electrico
D900=935:960;
DD900=1.375.*sqrt(D900)*6;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

B700=21*[ 30.4642    11.0162    14.6482    18.0668    11.2536    14.0879    30.4642    11.0162    14.6482
18.0668    11.2536    14.0879    30.4642    11.0162    14.6482    18.0668    11.2536    14.0879    30.4642
11.0162    14.6482    18.0668    11.2536    14.0879    30.4642    11.0162    14.6482    18.0668    11.2536
14.0879    30.4642    11.0162    14.6482    18.0668    11.2536    14.0879    30.4642    11.0162    14.6482
18.0668    11.2536    14.0879    30.4642    11.0162    14.6482    18.0668];
z=377;
Bz700=(B700./1000).*z;% Campo electrico
D700=758:803;
DD700=1.375.*sqrt(D700)*6;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```



## Evaluación de Radiaciones No-Ionizantes Emitidos por los Sistemas de Telefonía Celular en Ambientes Urbanos de Nicaragua.

```
B1900=21*[ 19.9792  22.8463  23.8909  22.1640  22.1935  25.7363 19.9792  22.8463  23.8909
22.1640  22.1935  25.7363 19.9792  22.8463  23.8909  22.1640  22.1935  25.7363 19.9792
22.8463  23.8909  22.1640  22.1935  25.7363 19.9792  22.8463  23.8909  22.1640  22.1935
25.7363 19.9792  22.8463  23.8909  22.1640  22.1935  25.7363 19.9792 19.9792  22.8463
23.8909  22.1640  22.1935  25.7363 19.9792  22.8463  23.8909  22.1640  22.1935  25.7363
19.9792  22.8463  23.8909  22.1640  22.1935  25.7363 19.9792  22.8463  23.8909  22.1640
22.1935  25.7363];
z=377;
Bz1900=(B1900./1000).*z;% Campo electrico
D1900=1930:1990;
DD1900=1.375.*sqrt(D1900)*6;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
B850=21*[ 13.9454  19.5412  19.4945  19.4305  18.9772  13.9454  19.5412  19.4945  19.4305
18.9772 13.9454  19.5412  19.4945  19.4305  18.9772 ];
z=377;
Bz850=(B850./1000).*z;% Campo electrico
D850=880:894;
DD850=1.375.*sqrt(D850)*6;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
B2100=21*[19.9398   5.4410   9.8863   7.9957  10.0077  14.5324 19.9398   5.4410   9.8863
7.9957  10.0077  14.5324 19.9398   5.4410   9.8863   7.9957  10.0077  14.5324 19.9398
5.4410   9.8863   7.9957  10.0077  14.5324 19.9398   5.4410   9.8863   7.9957  10.0077
14.5324 19.9398   5.4410   9.8863   7.9957  10.0077  14.5324 19.9398   5.4410   9.8863
7.9957  10.0077];
z=377;
Bz2100=(B2100./1000).*z;% Campo electrico
D2100=2125:2165;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
B3500=21*[ 20.1314  18.2712  22.1452  22.7666  22.2938  24.5186 20.1314  18.2712
22.1452  22.7666  22.2938  24.5186 20.1314  18.2712  22.1452  22.7666  22.2938  24.5186
20.1314  18.2712  22.1452  22.7666  22.2938  24.5186 20.1314  18.2712  22.1452  22.7666
22.2938  24.5186 20.1314  18.2712  22.1452  22.7666  22.2938  24.5186 20.1314  18.2712
22.1452  22.7666  22.2938  24.5186 20.1314  18.2712  22.1452  22.7666  22.2938  24.5186
20.1314  18.2712  22.1452  22.7666  22.2938  24.5186 20.1314  18.2712  22.1452  22.7666
22.2938  24.5186 24.5186];
z=377;
Bz3500=(B3500./1000).*z;% Campo electrico
D3500=3420:3480;

switch W

case 3500
    v=(sqrt(Bz3500)./366).^2;
    % SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
    % s=suma_vec(v)
    s=0; %inicialmente la suma vale 0
    n = length(v); %la función length nos devuelve
    %el número de elementos del vector
    for i=1: n
        s = s+ v(i);
    end

case 2100
    v=(sqrt(Bz2100)./366).^2;
    % SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
    % s=suma_vec(v)
    s=0; %inicialmente la suma vale 0
    n = length(v); %la función length nos devuelve
    %el número de elementos del vector
    for i=1: n
        s = s+ v(i);
    end

case 850
    v=(sqrt(Bz850)./DD850).^2;
    % SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
    % s=suma_vec(v)
    s=0; %inicialmente la suma vale 0
    n = length(v); %la función length nos devuelve
    %el número de elementos del vector
    for i=1: n
        s = s+ v(i);
    end
```



```
case 1900
    v=(sqrt(Bz1900)./DD1900).^2;
    % SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
    % s=suma_vec(v)
    s=0; %inicialmente la suma vale 0
    n = length(v); %la función length nos devuelve
    %el número de elementos del vector
    for i=1: n
        s = s+ v(i);
    end

case 700
    v=(sqrt(Bz700)./DD700).^2;
    % SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
    % s=suma_vec(v)
    s=0; %inicialmente la suma vale 0
    n = length(v); %la función length nos devuelve
    %el número de elementos del vector
    for i=1: n
        s = s+ v(i);
    end

case 900
    v=(sqrt(Bz900)./DD900).^2;
    % SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
    % s=suma_vec(v)
    s=0; %inicialmente la suma vale 0
    n = length(v); %la función length nos devuelve
    %el número de elementos del vector
    for i=1: n
        s = s+ v(i);
    end

case 1800
    v=(sqrt(Bz1800)./DD1800).^2;
    % SUMA_VEC Calcula la suma de los elementos de un vector
    % s=suma_vec(v)
    s=0; %inicialmente la suma vale 0
    n = length(v); %la función length nos devuelve
    %el número de elementos del vector
    for i=1: n
        s = s+ v(i);
    end
end
end
```

**4. Ejemplo Para GSM, GPRS & EDGE, para el resto de estándares se realizan ajustes de bases de datos de antenas, frecuencias de bajadas por banda. Este M-FILE solo es para 1 Emplazamiento.**

```
function hex1()

clearall; clc
mynumber=input('Introduzca el numero de Arreglo de Celda: ');
Went=input('Introduzca la potencia de transmisión (W): ');
q=input('Introduzca el radio de cobertura: ');
n=input('Introduzca el número de radio transmisores: ');
N=input('Introduzca el número de antenas: ');
h=input('Introduzca la alturas de las antenas (m): ');
h2=input('Introduzca la altura promedio de una persona: ');
a=input('Introduzca la banda de operacion en GSM (MHZ): ');
T=input('Introduzca el Tilt de la Antena (grados): ');
G=input('Introduzca la Ganancia de la Antena (dBi): ');
B=input('Introduzca el beamwidth de la Antena (grados): ');
Anzahl=input('Introduzca el numero de pasos del camino aleatorio: ');
W=input('Introduzca el cuadro de canales downlink en GSM (MHZ): ');
k=input('Introduzca el numero de Repeticiones del experimento: ');

%%% ANTENAS GSM
```



```
rho=antena(); %obtiene las ganancias de la antenna KATENREIN 18 T=2 B=65
%.....
%.....
rho900=antenagsm900();%30deg,18dBi,0Tilt,900MHz,Beamwidth=30;%fmin=806Mhz;Fmax=960Mhz;%(uplink) 890-915
Mhz;
%(Downlink)935-960 Mhz;(uplink)1770-1780 Mhz;(Downlink) 1865-1870 Mhz
%.....
%.....
rho180017650=antenagsm180017650();%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la
%antena en la variable rho.65deg 17dBi 0Tilt 1800MHz,Beamwidth=65;%fmin=1710Mhz;Fmax=1900Mhz.
%.....
%.....
rho180018300=antenagsm180018300();
%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la
%antena en la variable rho.30deg 18dBi 0Tilt
1800MHz,Beamwidth=30;%fmin=1710Mhz;Fmax=1990Mhz.%(uplink)1755 - 1765;(Downlink) 1850 - 1855%(uplink)1770
- 1780;(Downlink) 1865 - 1870
%.....
%.....
rho90017650=antenagsm90017650();%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la
%antena en la variable rho.65deg 17dBi 0Tilt 900MHz,Beamwidth=65;%fmin=806Mhz;Fmax=960Mhz.%(uplink) 890 -
915 Mhz;.....(Downlink)935 - 960 Mhz %(uplink)1770 - 1780 Mhz;.....(Downlink) 1865 - 1870 Mhz
%.....
%.....
rho180017652=antenagsm180017652();%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la
%antena en la variable rho.30deg 18dBi 0Tilt 1800MHz,Beamwidth=30;
%fmin=1710Mhz;Fmax=1990Mhz. %(uplink)1755 - 1765;(Downlink) 1850 - 1855%(uplink)1770 - 1780;(Downlink)
1865 - 1870
%.....
%.....
rho90017652=antenagsm90017652();%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la
%antena en la variable rho.30deg 18dBi 0Tilt
1800MHz,Beamwidth=30;%fmin=1710Mhz;Fmax=1990Mhz.%(uplink)1755 - 1765;(Downlink) 1850 - 1855%(uplink)1770
- 1780;(Downlink) 1865 - 1870
%.....
%.....
rho90017654=antenagsm90017654();%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la%antena
en la variable rho.30deg 18dBi 0Tilt 1800MHz,Beamwidth=30;
%fmin=1710Mhz;Fmax=1990Mhz.%(uplink)1755 - 1765;(Downlink) 1850 - 1855%(uplink)1770 - 1780;(Downlink)
1865 - 1870
%.....
%.....
rho180017656=antenagsm180017656();%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de
la%antena en la variable rho.30deg 18dBi 0Tilt 1800MHz,Beamwidth=30;
%fmin=1710Mhz;Fmax=1990Mhz.%(uplink)1755 - 1765;.....(Downlink) 1850 - 1855%(uplink)1770 -
1780;.....(Downlink) 1865 - 1870
%.....
%.....
rho9006656=antenagsm9006656();
%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la%antena en la variable rho.65deg 6dBi
6Tilt 900MHz,Beamwidth=65;
%fmin=806Mhz;Fmax=960Mhz;%(uplink) 890-915 Mhz; %(Downlink)935-960 Mhz;
%.....
%.....
rho18006656=antenagsm18006656();
%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la%antena en la variable rho.65deg dBi
6Tilt 1800MHz,Beamwidth=65;
%fmin=1710Mhz;Fmax=1990Mhz.%(uplink)1755 - 1765;.....(Downlink) 1850 - 1855%(uplink)1770 -
1780;.....(Downlink) 1865 - 1870
%.....
%.....
rho18001100=antenagsm18001100();
%esta funcion almacena y retorna los valores de la ganancia de la%antena en la variable rho.0deg 11dBi
0Tilt 1800MHz,Beamwidth=60;
%fmin=1710Mhz;Fmax=1990Mhz.%(uplink)1755 - 1765;.....(Downlink) 1850 - 1855%(uplink)1770 -
1780;.....(Downlink) 1865 - 1870

if a==900;
if G==18;
if T==0;
if B==30;
b=rho900;
end
end
end
end
```



```
if a==1800;
if G==18;
if T==2;
if B==65;
    b=rho;
end
end
end
end

if a==1800;
if G==17;
if T==0;
if B==65;
    b=rho180017650;
end
end
end
end

if a==1800;
if G==18;
if T==0;
if B==30;
    b=rho180018300;
end
end
end
end

if a==900;
if G==17;
if T==0;
if B==65;
    b=rho90017650;
end
end
end
end

if a==1800;
if G==17;
if T==2;
if B==65;
    b=rho180017652;
end
end
end
end

if a==900;
if G==17;
if T==2;
if B==65;
    b=rho90017652;
end
end
end
end

if a==900;
if G==17;
if T==4;
if B==65;
    b=rho90017654;
end
end
end
end

if a==1800;
if G==17;
if T==6;
if B==65;
    b=rho180017656;
end
end
end
end

if a==900;
```





```
if G==6;
if T==6;
if B==65;
    b=rho9006656;
end
end
end
end
if a==1800;
if G==6;
if T==6;
if B==65;
    b=rho18006656;
end
end
end
end
%Antenas OMNI GSM
if a==1800;
if G==11;
if T==0;
if B==0;
b=rho18001100;
end
end
end
end

% Son 26 Celdas en total con c podes pedir las 1 por 1
c11=[0.1  0.1
    -1299 250
    1299 250
    -9.185e-014 1500
    433 -1250
    -866 -1500
    1299 1750
    -1299 1750
    -2165 -1250
    1732 -1482
    -2598 0
    2598 1500
    2598 0
    3031 -1250
    -1299 1750
    -2598 1500
    -3464 -1500
    -2598 -3000
    -1299 -2750
    -9.185e-014 -3000
    1299 -2750
    2598 -3000
    -1299 3250
    -2598 3000
    0.0127 3000
    1299 3250
    2598 3000
    2767 2991];

% Numero de Arreglo de Celda, son 7 en total:
if mynumber<22
    p=zeros(1,k);
    p1=zeros(1,k);
    p4=zeros(1,k);
    p5=zeros(1,k);
    for j=1:k

        r=0.1:q;
        r=r';
        closeall; %Cerramos todas las figuras
        Gt=zeros(N,361); %Declaramos la variable Gt con N*361 ceros
        THETA=2*pi*(0:360)/360;
        rho2=b-min(b);
        %clf;
```



```
%hold off
for l=1:mynumber
    c(1)=c1l(1,1);
    c1(1)=c1l(1,2);
    ca=[c(1) c1(1)];
    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
    X=r*cos(THETA)+ ca(1); %Valores de X para pasar de polar a rectangular
    Y=r*sin(THETA)+ ca(2); %Valores de Y para pasar de polar a rectangular
    EIRPdb=zeros(N,361); %Declaramos EIRPdb con N*361 ceros
    EIRP_W=zeros(N,361); %Declaramos EIRP_W con N*361 ceros
    S=zeros(size(r,1),361,N); %Declaramos S con el tamaño de r por 361 por N ceros
    S_total=zeros(size(r,1),361); %Declaramos S_total con el tamaño de r por 361 ceros

    for i=1:N
        Gt(i,:)=circshift(b,-i*360/N); %Obtiene los valores de rho, los rota 120 grados y los almacena en Gt
        Wentdb =10*log10(n*N*Went); %Potencia de entrada del transmisor en DB.
        EIRPdb(i,:)=Wentdb+Gt(i,:); %Potencia radiada isotrópica equivalente en DB.
        EIRP_W(i,:)=10.^(EIRPdb(i,:)/10); %Potencia radiada isotrópica equivalente en W.
        hprima=h-h2; %h es altura de la antena, hprima=altura de la Ax menos estatura máxima humana (2m)
        theta=atan(hprima./r); %theta es el ángulo con respecto a la altura de la antena
        f_theta=((cos((pi/2)*sin(theta))./cos(theta)).^2); %f_theta es
        S(:, :,i)=(((2.56/(4*pi)).*f_theta./(hprima^2+r.^2))*EIRP_W(i,:)); %Guardamos la densidad de potencia de
        %cada antena %S es la densidad de potencia a nivel del suelo (W/m)
        %figure(i+1); %En la figura i (ej. 1)
        %mesh(X,Y,S(:, :,i)); %graficamos el mesh de la densidad de potencia de i (ej. 1)
        S_total=S_total+S(:, :,i); %Sumamos las densidades de potencia de cada antena
    end

    %figure(i+2); %en la figura i+1 (ej. 2)
    %figure (2);

    S_totalT=zeros(size(r,1),361);
    for ll=1:mynumber
        S_totalT=S_totalT+S_total;
    end
    %S_totalT=S_total+S_total;
    %mesh(X,Y,S_totalT); %graficamos la densidad de potencia total.

    %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%555
    %figure(2);
    % default setting
    if (nargin < 4)
        Driftx = 0;
        Drifty = 0;
    end
    if (nargin < 2)
        %Anzahl = 2;
        %Weite = 10;
    end

    clf;
    axis square; axis equal;
    hold on;
    Position = zeros(2, Anzahl+1);
    Position(1, 1) = 0; Position(2, 1) = 0;

    % measure the elapsed time
    %tic;
    for x = 1:Anzahl
        % random value out of [0, 2pi] for the angle
        ZufallWinkel = 2*pi*rand(1);
        ZufallWeite = Weite*rand(1);
        Position(1, x+1) = round(Position(1, x)+ZufallWeite*cos(ZufallWinkel))+Driftx;
        Position(2, x+1) = round(Position(2, x)+ZufallWeite*sin(ZufallWinkel))+Drifty;
    end;
    %toc;
    x = 1:Anzahl+1; y = 1:Anzahl+1;
    % plotting the random walk
    plot(Position(1,x), Position(2,y), 'k-');
    hold off;
    a=Position(1,x);
    s=Position(2,y);
    p2=zeros(1,Anzahl);
    for i=1:Anzahl
```



```
dm=sqrt(((a(1,i+1)-a(1,i)).^2)+ ((s(1,i+1)-s(1,i)).^2));
p2(1,i)=dm;
end
%figure(3);
plot(Position(1,x), Position(2,y), 'k-');
holdon
mesh(X,Y,S_totalT); %graficamos la densidad de potencia total.
%axis([xmin xmax ymin ymax])

axis([-3200 2500 -3200 2500])
holdon
end
holdon

t=p2./0.92;
i=1:Anzahl;
f5=S_totalT(1,i);
E=(f5).*t;
E1=(f5).*p2;
T=sum(E);

p(1,j)=T;
p1(1,j)=mean(E);
p4(1,j)=mean(E1);
p5(1,j)=mean(t);
S_totalT=[];

figure(4);
stairs(p,'r')
holdon
GSM900=935:960;
GSM1800=1805:1880;
G900=((GSM900)./200)*6;
SM1800=((GSM1800)./200)*6;

switch W
case 1800
stairs(SM1800)
case 900;
stairs(G900)
end

figure(5);
stairs(p)
grid

c21=mean(p)
c22=min(p)
c33=max(p)
c44=var(p)
per25 = prctile(p,25)
per50 = prctile(p,50)
per75 = prctile(p,75)
per100 = prctile(p,100)

figure(6);
hist(p)
grid
figure(7);
stem(0.25,per25)
holdon
stem(0.5,per50)
holdon
stem(0.75,per75)
holdon
stem(0.95,per100)
grid
% Calculo del SAR
figure(8);
switch W
case 1800
Sar=(0.999.*(p1).*754)./1125;
```



```
stem(Sar)
holdon
    SARMEAN=mean(Sar);
stem(38,SARMEAN,'r')

case 900;

    Sar=(0.999.*(p1).*754)./1125;
stem(Sar)
holdon
    SARMEAN=mean(Sar);
stem(38,SARMEAN,'r')
end
figure(10);
pot=10.*log10((p./p5)/1000);
stem(pot,'k')
holdon
potdBmmean=mean(pot);
stem(38,potdBmmean,'r')

figure(9);

stem(p5,'c')
holdon
potdBmmean=mean(p5);
stem(38,potdBmmean,'k')

end

else
disp('Fuera de Area de Cobertura');

end
```



# ANEXO C.

(Requisitos Para Tramitación de  
Solicitud de Permiso Sanitario Para  
Proyectos de Instalación de Antenas de  
Telefonía Celular.)



### **Requisitos para tramitación de solicitud de Permiso Sanitario para proyectos de instalación de Antenas de Telefonía Celular.**

1. Los operadores de telefonía celular deben de enviar carta de solicitud dirigida a los directores de los SILAIS o su representante local, para la elaboración del aval sanitario para la instalación de antenas de telefonía celular, señalando lugar y anexando los requisitos respectivos.

Ellos deben adjuntar los siguientes requisitos

1. Aval del Consejo de Poder Ciudadano del Sitio donde se instalara la antena celular.
2. Constancia de uso de suelo, emitida por la Alcaldía donde se realizara la instalación de la antena celular
3. Constancia de registro de licencia de operador de Telefonía celular emitida por Telcor
4. Poder del representante legal para efectos del proyecto de instalación

### **Procedimientos:**

El Operador deberá de previo organizar con el Consejo del Poder ciudadano del sitio de instalación del soporte de antena, una consulta para la obtención del Aval en la cual participan los habitantes en un radio de 50 mts (aproximadamente).



Ministerio de Salud

Complejo Nacional de Salud "Dra. Concepción Palacios", Costado oeste Colonia Primero de Mayo, Managua, Nicaragua  
Teléfono PBX: (505) 289-7483 | Apartado Postal 107





1. Para la cual se invitará a los representantes de las siguientes instituciones: TELCOR, MINSA, MARENA, Alcaldía correspondiente, INAC. Si la población se opone mayoritariamente a la instalación, no se sigue el trámite y se reiniciará el proceso para otro sitio. El operador deberá de invitar con 8 días de anticipación a las Instituciones del Estado.
2. El Ministerio de Salud a través de los técnicos respectivos de los SILAIS, debe de participar en la visita conjunta que organizará el MARENA para evaluar el sitio de la instalación.
3. En dicha visita de evaluación conjunta, el técnico del Minsa debe determinar los siguientes indicadores:
  1. Presencia de Escuelas cercanas a la instalación, la antena debe estar como mínimo a 100 metros radiales de la escuela.
  2. Presencias de unidades de salud, la antena debe estar como mínimo a 100 metros radiales de la unidad d salud.
  3. Análisis de salud en la población alrededor de la instalación de la antena (en un radio de 50 mts), en los cuales deben buscarse pacientes con marcapasos cardiaco, epilépticos diagnosticados y cualquier otra enfermedad que este demostrado que es un riesgo la exposición a la telefonía celular y radiaciones no ionizantes.
  4. Determinar la presencia de equipos de medicina electrónicos que se estén utilizando en pacientes, en un máximo de 50 metros radiales desde la instalación de la antena.



Ministerio de Salud

Complejo Nacional de Salud "Dra. Concepción Palacios", Costado oeste Colonia Primero de Mayo, Managua, Nicaragua  
Teléfono PBX: (505) 289-7483 | Apartado Postal 107



5. La existencia de cualquiera de estas causales será suficiente para que el análisis de riesgo sea negativo.
4. Se dará positiva el aval cuando se tenga:
  - Aval positivo del consejo del poder ciudadano del lugar de la instalación de la telefonía celular
  - 1. Constancia positiva de uso de suelo emitida por la Alcaldía donde se realizara la instalación
  - 2. Informe de realización de la visita conjunta convocada por el MARENA
  - 3. Respuesta positiva del Análisis de Riesgo a la salud de la población expuesta.
4. Constancia de registro de licencia de operador de Telefonía celular emitida por Telcor
5. Poder del representante legal para efectos del proyecto de instalación
6. No se da el permiso sanitario, por cualquiera de las siguientes causales:
  1. Aval Negativo del consejo del poder ciudadano
  2. El operador de telefónica celular inicio la instalación de la antena sin haber tenido el aval respectivo de la institución.
  3. Que el análisis de riesgo elaborado por el SILAIS demuestre riesgo de salud en la población expuesta.
  4. Aval de uso de suelo de la alcaldía negativo
  5. No constancia del operador
  7. Tiempo de emisión del aval sanitario: 10 días hábiles posteriores de efectuado la visita conjunta convocada por el Marena.

PUNTO FINAL.



Ministerio de Salud

Complejo Nacional de Salud "Dra. Concepción Palacios", Costado oeste Colonia Primero de Mayo, Managua, Nicaragua  
Teléfono PBX: (505) 289-7483 | Apartado Postal 107